



universität  
wien

# Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Der Einfluss eines akustischen  
Neurofeedbacktrainings auf das deklarative  
Gedächtnis und den Schlaf

Verfasserin

Andrea Kuttenhofer

Angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im November 2012

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Claus Lamm



# Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei jenen Personen, die mich bei der Verfassung dieser Diplomarbeit begleitet und unterstützt haben.

Insbesondere möchte ich Herrn **Prof. DDr. Josef Zeitlhofer** danken, der mir die Möglichkeit gegeben hat, in seinem Forschungsteam mitzuwirken und meine Diplomarbeit im Rahmen des FWF-Projekts zu verfassen. Ich bedanke mich für seinen kontinuierlichen Einsatz und für die jahrelange sehr gute Zusammenarbeit, die mir einen tiefen und interessanten Einblick in die klinisch-psychologische Tätigkeit (insbesondere in die Schlafforschung und das Neurofeedback) ermöglicht hat.

Mein größtes Dankeschön gilt Frau **Dr. Doris Moser**. Sie hat durch ihre Betreuung, Unterstützung und Motivation maßgeblich zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen. Deshalb möchte ich mich bei ihr sehr für ihre Zeit, ihr laufendes Engagement und ihre unermüdliche Geduld bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an meine liebe Freundin und Kollegin **Laura Pohlmann**, durch die ich überhaupt erst auf die Thematik und das „Schlaf-Team“ gestoßen bin und die bei der Durchführung der Studie tatkräftig mitgewirkt hat.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn **Dr. Dieter Grossegger (B.E.S.T. Medical Systems)** für die Bereitstellung der Gerätschaften und Räumlichkeiten zur Durchführung des Projekts, bei Herrn **Sebastian Eder** und Herrn **Mag. Wolfgang Frühwirt** für die Mitarbeit bei der Studie, bei Herrn **Mag. Gerhard Klösch** für den wertvollen Input und sämtlichen **StudienteilnehmerInnen** für ihre Mithilfe bedanken.

Ein ganz lieber Dank gilt auch meiner Schwester **Claudia Kuttnerhofer** und meinen beiden Freundinnen **Katharina Moder** und **Natalie Sharp** für das Korrekturlesen der Arbeit.

## **Anmerkung**

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des FWF-Projekts „Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis“ unter der Leitung von Prof. DDr. Josef Zeitlhofer. Das Projekt wurde durch den österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützt (P20208) und durch die Ethikkommission genehmigt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>THEORETISCHER TEIL</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Das Gedächtnis und seine Funktionen</b>	<b>3</b>
<b>3 Die Hirnaktivität des Menschen</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Der Alpha-Rhythmus</b>	<b>8</b>
3.2.1 Kennzeichen und Variabilität des Alpha-Rhythmus	8
3.2.2 Die individuelle Alpha-Frequenz	10
3.2.3 Alpha-Frequenz und Kognition	10
3.2.4 Alpha-Sub-Bänder und Kognition	12
<b>3.3 Hirnaktivität im Schlaf</b>	<b>15</b>
3.3.1 Schlafstruktur	15
3.3.2 Gedächtniskonsolidierung im Schlaf	17
3.3.3 Tiefschlaf und deklarative Gedächtniskonsolidierung	19
3.3.4 Der Tagschlaf	20
3.3.5 Modulation der deklarativen Gedächtniskonsolidierung im Schlaf	21
<b>4 Neurofeedback</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Was ist Neurofeedback?</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Anwendung von Neurofeedback</b>	<b>24</b>
<b>4.3 Neurofeedback und Kognition</b>	<b>26</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>28</b>
<b>EMPIRISCHER TEIL</b>	<b>31</b>
<b>6 Ziel der Studie</b>	<b>32</b>
<b>7 Fragestellungen und Hypothesen</b>	<b>33</b>
<b>7.1 Deklarative Gedächtnisleistung</b>	<b>33</b>
<b>7.2 Deklarative Gedächtnisleistung und Schlaf</b>	<b>34</b>
<b>7.3 Schlaf</b>	<b>34</b>
<b>7.4 Zusammenhänge zwischen deklarativem Gedächtnis, Schlaf und subjektiven Angaben</b>	<b>35</b>

<b>8 Material und Methodik</b>	<b>36</b>
<b>8.1 Studiendesign</b>	<b>36</b>
<b>8.2 Untersuchungsverfahren</b>	<b>38</b>
8.2.1 EEG-Aufnahmen	38
8.2.2 Akustisches Neurofeedback	39
8.2.4 Fragebögen	44
<b>8.3 Analyse der Daten</b>	<b>44</b>
<b>9 Ergebnisse</b>	<b>47</b>
<b>9.1 Stichproben</b>	<b>47</b>
<b>9.2 Ergebnisse der Eingangsuntersuchung</b>	<b>48</b>
9.2.1 Selbstbeurteilungsverfahren Self-Rating Anxiety Scale (SAS) und Self-Rating Depression Scale (SDS)	48
9.2.2 Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)	49
9.2.3 Advanced Progressive Matrices (APM)	50
9.2.4 Wechsler Memory Scale (WMS-R)	51
<b>9.3 Ergebnisse der Testtage</b>	<b>52</b>
9.3.1 Deklaratives Gedächtnis	52
9.3.2 Gedächtnisleistung und Schlaf	56
9.3.3 Objektive Schlafparameter	59
9.3.4 Schlafbedingte Veränderung der subjektiven Befindlichkeit	65
9.3.4 Zusammenhänge zwischen den Variablen	70
<b>9.5 Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>74</b>
<b>10 Diskussion</b>	<b>75</b>
<b>10.1 Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>75</b>
<b>10.2 Conclusio und Ausblick</b>	<b>81</b>
<b>11 Literatur</b>	<b>84</b>
<b>12 Abkürzungen</b>	<b>92</b>
<b>13 Abbildungsverzeichnis</b>	<b>94</b>
<b>14 Tabellenverzeichnis</b>	<b>96</b>
<b>15 Anhang</b>	<b>99</b>
<b>15.1 Probandeninformation und Einwilligungserklärung</b>	<b>99</b>

<b>15.2 Self-Rating Depression Scale (SDS, Zung, 1965)</b>	<b>105</b>
<b>15.3 Self Rating Anxiety Scale (SAS, Zung, 1971)</b>	<b>106</b>
<b>15.4 Fragebogen zum Chronotyp (D-MEQ, Griefahn et al., 2001)</b>	<b>107</b>
<b>15.5 Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI, Buysse et al., 1988)</b>	<b>111</b>
<b>15.6 Visuelle Analogskala (VAS)</b>	<b>114</b>
<b>15.7 Schlaftagebuch</b>	<b>115</b>



# **THEORETISCHER TEIL**

# 1 Einführung

Als Neurofeedback bezeichnet man die Rückmeldung der sonst nicht bewussten Hirnaktivität. Dabei werden die Gehirnströme mittels Elektroenzephalogramm (EEG) aufgezeichnet, von einem Computer unmittelbar in die verschiedenen Frequenzanteile zerlegt und anschließend für die Person sicht- oder hörbar gemacht. Gemäß dem Prinzip der operanten Konditionierung sollte es der Person durch wiederholtes Neurofeedbacktraining (NFT) möglich sein, die Selbstregulation bestimmter EEG-Rhythmen zu erlernen.

In klinischen Studien konnte bereits der positive Einfluss von Neurofeedbacktraining nachgewiesen werden. Durch die bewusste Beeinflussung der Hirnaktivität zeigten sich beispielsweise Erfolge bei der Behandlung von EpilepsiepatientInnen (Stermann & Egner, 2006, Überblick). Auch bei PatientInnen mit Aufmerksamkeitsdefizits-Hyperaktivitäts-Syndrom (ADHS) konnte die Wirksamkeit der Methode des Neurofeedbacks dargelegt werden (Drechsler, 2011, Überblick). Nicht nur im klinischen Setting besteht die Möglichkeit die Wirkung des Neurofeedbacktrainings zu nutzen, sondern auch im nicht-klinischen Bereich. Gesunde Personen können durch die Methode des Neurofeedbacks eine Steigerung der kognitiven, kreativen, musikalischen und sportlichen Leistung erreichen (Vernon, 2005). Entscheidend ist dabei vor allem, welches EEG-Frequenz-Band trainiert und somit verändert werden soll. Bisherige Studien, welche den Zusammenhang zwischen der Hirnaktivität und der kognitiven Leistungsfähigkeit untersucht haben, deuten darauf hin, dass eine niedriger Anteil an langsamen Alpha-Wellen (das ist der Frequenzbereich der individuellen Alpha-Frequenz bis 4 Hz darunter) mit einer guten Aufmerksamkeit und ein hoher Anteil an schnellem Alpha (definiert durch den Bereich der individuellen Alpha-Frequenz bis 2 Hz darüber) mit einer guten und schnellen Verarbeitung semantischer Informationen in Zusammenhang steht (für einen Überblick siehe Klimesch, 1999). Mit Hilfe des Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung der Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich konnten in bisherigen Studien Verbesserungen der Arbeitsgedächtnisleistung erzielt werden (Hanslmayr, Sauseng, Doppermayr, Schabus & Klimesch, 2005; Zoefel, Huster & Herrmann, 2011). Das

Neurofeedbacktraining des Sensomotorischen Rhythmus (SMR, 12 – 15 Hz) beeinflusst die deklarative Gedächtnisleistung und die Qualität des Schlafes positiv (Hödlmoser et al., 2008). Da diese beiden Parameter in bisherigen Studien noch nicht in Bezug auf das Neurofeedback des benachbarten Alpha-Bandes untersucht worden sind, erfolgt dies in der vorliegenden Arbeit. Dabei soll der Einfluss eines akustischen Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung der Alpha-Aktivität im schnellen Frequenzbereich und gleichzeitiger Reduzierung im langsamen Frequenzbereich auf die deklarative Gedächtnisleistung und die Schlafqualität eines Mittagsschlafes untersucht werden. Die Arbeit ist in einen theoretischen und einen empirischen Teil untergliedert. Der theoretische Teil gibt eine kurze Einführung in das menschliche Gedächtnis, einen Einblick in die Hirnaktivität des Menschen sowohl im Wachen als auch im Schlaf sowie einen Überblick über die Methodik des Neurofeedbacks. Es werden bisherige Ergebnisse zur deklarativen Gedächtnisleistung und Schlafqualität dargestellt und in Zusammenhang mit dem Neurofeedbacktraining betrachtet. Im empirischen Teil werden aufbauend auf den Fragestellungen und Hypothesen die Ergebnisse dargelegt. Abschließend werden die Ergebnisse kritisch betrachtet und mit den bisherigen Erkenntnissen in Zusammenhang gebracht und diskutiert.

## **2 Das Gedächtnis und seine Funktionen**

Ohne das Gedächtnis wäre kein Gedanke, kein Wort, ja nicht einmal ein Gefühl möglich. Damit stellt das Gedächtnis eine der faszinierendsten Fähigkeiten von Lebewesen dar. Wie sich das Gedächtnis beim Menschen bildet, wie es unterteilt werden kann und was seine neurophysiologischen Korrelate sind wird in diesem Kapitel dargestellt.

Der Vorgang der Gedächtnisbildung lässt sich in drei Phasen unterteilen: die Enkodierungsphase, die Konsolidierungsphase und die Phase des Abrufs. In der Enkodierungsphase werden neue Informationen aufgenommen und abgespeichert, wobei emotionale Bewertungen und aufmerksamkeitsbezogene Prozesse einen Einfluss auf die Abspeicherung nehmen. Bei der Aufnahme von Informationen erfolgt bereits ein Selektionsprozess, bei dem lediglich die relevanten Informationen ausgewählt und aufgenommen werden. In der

Konsolidierungsphase wird eine Gedächtnisspur vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis gebildet, wodurch die Informationen verfestigt, stabiler gegenüber Interferenz und längerfristig erinnerbar gemacht werden. Dabei werden bei der Konsolidierung die neuen Informationen in bereits bestehende Gedächtniseinheiten integriert und so Assoziationen gebildet. Beim Abruf werden die enkodierten Informationen spontan oder nach Aufforderung zurückgerufen (Brand & Markowitsch, 2004; Öhlmann, 2009).

Je nachdem, wie lange die Informationen gespeichert werden, unterscheidet man zwischen dem Ultrakurzzeitgedächtnis, dem Kurzzeitgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis. Im Ultrakurzzeitgedächtnis, auch sensorischer Speicher genannt, beträgt die Speicherdauer nur wenige Millisekunden. In dieser Zeit findet der Empfang aller Sinneseindrücke von den Rezeptoren statt sowie ein Selektionsprozess, bei dem die für den Moment bedeutenden Reize herausgefiltert werden. Im Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis haben die Informationen ein paar Sekunden bis hin zu wenige Minuten Bestand, wobei ca.  $7 \pm 2$  Informationseinheiten gespeichert werden. Während dieser Zeit werden die Einheiten für die weitere Verarbeitung präsent gehalten. Neben neuen kann das Arbeitsgedächtnis auch alte Informationsmengen aus dem Langzeitgedächtnis für kurze Zeit aktiv halten. Ein Beispiel für die Leistung dieses Gedächtnisses ist das Wählen einer Telefonnummer, die man kurz zuvor gehört hat. Im Anschluss werden neue Informationen entweder vergessen, da sie nicht weiter verarbeitet werden, oder es erfolgt eine Übertragung vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis. Die Aufnahmekapazität und die Dauer des Langzeitgedächtnisses gelten als unbegrenzt (Brand & Markowitsch, 2004; Universität Wuppertal, 2003).

Es existieren drei mögliche Prozesse mit denen das Vergessen von Gedächtnisinhalten im Langzeitgedächtnis erklärt werden kann. Zum einen kann das Vergessen mittels Überlagerung durch bereits Gelerntes (proaktive Hemmung) oder später Gelerntes (retroaktive Hemmung) erfolgen. Zum anderen kann es zum Zerfall der Gedächtnisspur kommen. Eine dritte Möglichkeit wäre das Fehlen der Zugriffsmöglichkeit auf die Gedächtnisspur (Öhlmann, 2009).

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Formen von Langzeitgedächtnis: das deklarative oder explizite Gedächtnis und das non-deklarative oder implizite



Gedächtnis. Das deklarative Gedächtnis beinhaltet dabei das semantische und das episodische Gedächtnis. Unter dem semantischen Gedächtnis versteht man das Gedächtnis für das allgemeine Wissen und für Fakten, die frei vom Kontext gemerkt werden. So gehört beispielsweise das Wissen, dass Paris die Hauptstadt von Frankreich ist zum semantischen Gedächtnis. Unter das episodische Gedächtnis fallen alle persönlichen Erlebnisse und Ereignisse. Jene Gedächtnisinhalte haben immer einen räumlichen und zeitlichen Bezug und erfahren meist auch eine emotionale Bewertung. Ein Beispiel hierfür wäre die Erinnerung an die letzte Geburtstagsfeier eines guten Freundes, wobei man sich noch genau erinnern kann, wann und wo diese Feier stattgefunden hat und wer alles anwesend war. Um das deklarative Gedächtnis zu erfassen, werden Testpersonen beispielsweise Wörter, Texte, Wortpaare oder visuelles Material vorgegeben, welche sie sich merken und nach einer gewissen Zeit wiedergeben bzw. wiedererkennen sollen. Auf das deklarative Gedächtnis kann man in der Regel bewusst zugreifen. Unter das non-deklarative Gedächtnis fallen das prozedurale Gedächtnis, das Priming-System und das perzeptuelle Gedächtnis. Dabei beinhaltet das prozedurale Gedächtnis motorische Fertigkeiten und Routinehandlungen. Beispielhaft hierfür seien Schwimmen oder Zähneputzen genannt. Von Priming spricht man, wenn man etwas, das man zuvor – bewusst oder unbewusst – wahrgenommen hat, wiedererkennt. Wenn man zum Beispiel eine unbekannte Melodie beiläufig im Radio hört und man zu einem späteren Zeitpunkt diese Melodie erneut wahrnimmt, ist es einem möglich, diese Tonsequenz wiederzuerkennen und der zuvor gehörten Melodie zuzuordnen. Mit dem perzeptuellen Gedächtnis wird das bewusste Erkennen von Objekten und Geräuschen nur aufgrund ihrer wahrnehmbaren Eigenschaften bezeichnet. Dabei entsteht nur aufgrund der wahrnehmungsbezogenen Eigenschaften ein Gefühl der Bekanntheit. So kann man beispielsweise eine Pflanze, die man bereits gesehen hat, von der man aber nicht weiß wie sie heißt, als bekannt einordnen (Bear, Connors, Paradiso & Engl, 2008, Kap. 24; Brand & Markowitsch, 2004). Für die vorliegende Arbeit ist speziell das deklarative Gedächtnis von Interesse.

Neuroanatomisch sind für die Konsolidierung des deklarativen Gedächtnisses untereinander verschaltete Strukturen im medialen Temporallappen entscheidend. Diese Strukturen sind der Hippocampus, die Cortexareale in

diesem Bereich (entorhinaler, perihinaler und parahippocampaler Cortex) und die Bahnen, die diese Teile mit anderen Bereichen des Gehirns verbinden (Bear et al., 2008, Kap. 24). Generell kommt dem medialen Temporallappen aber nur eine begrenzte Rolle bei der Gedächtnisbildung zu, denn die Gedächtnisinhalte werden hier temporär gespeichert und anschließend in das Langzeitgedächtnis im Neocortex übertragen. Der Abruf der Gedächtnisinhalte erfolgt bereits unabhängig vom Hippocampus (Squire & Zola, 1996). Den Hippocampus kann man demzufolge als eine Art Zwischenspeicher ansehen, der Informationen zwar relativ schnell aufnehmen kann, allerdings nur eine begrenzte Speicherkapazität besitzt. Als Langzeitspeicher dient demnach der Neocortex, der, um die bisherigen Gedächtnisinhalte vor Störungen zu schützen, neue Informationen nur graduell in bestehendes Wissen integriert. Diese allmähliche Integration erfolgt über wiederholte Episoden der Informationsübertragung aus dem Hippocampus (McClelland, McNaughton & O'Reilly, 1995).

### **3 Die Hirnaktivität des Menschen**

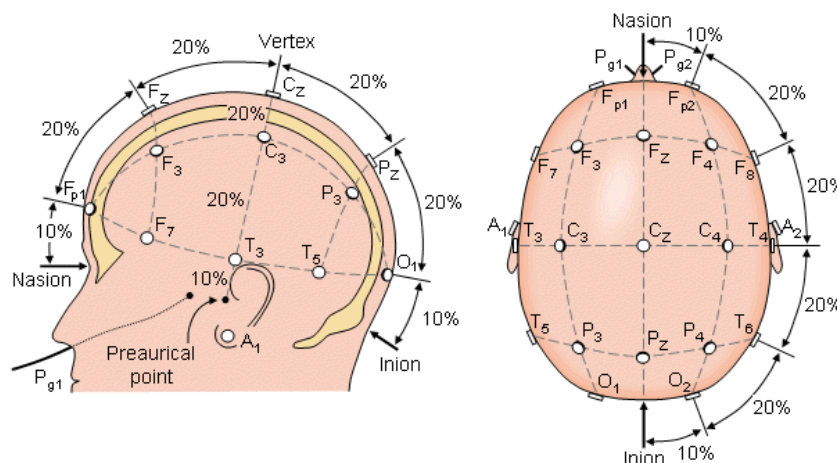
In diesem Kapitel werden zunächst die Entstehung der Hirnaktivität des Menschen und die Messung dieser Gehirnströme mittels Elektroenzephalogramm (EEG) behandelt, wobei zudem die kognitiven Korrelate zu den rhythmischen Aktivitäten dargestellt werden. Im Anschluss daran wird genauer auf den Alpha-Frequenzbereich und auf den Schlaf eingegangen.

#### **3.1 Das Elektroenzephalogramm (EEG)**

Das Elektroenzephalogramm dient dazu, die Hirnaktivität zu erfassen. Dabei misst das EEG Spannungsschwankungen des Gehirns. Diese kommen durch Potentiale zustande, die in der Großhirnrinde bei der synaptischen Erregung von Dendriten der Pyramidenzellen auftreten. Um die Spannungsschwankungen, die lediglich Amplituden von wenigen Zehntel Mikrovolt ( $\mu\text{V}$ ) besitzen, zu messen, werden Elektroden an der Kopfhaut angebracht, die mit Verstärkern und Aufnahmecomputern verbunden sind.

Dabei wird jeweils der Spannungsunterschied zwischen zwei Elektroden ermittelt (Bear et al., 2008, Kap. 19). Die standardisierten Anbringungsstellen nach dem 10-20-System sind in Abbildung 1 dargestellt.

**Abbildung 1.** Standardisierte Ableitungspunkte beim EEG nach dem 10-20-System; A: Ohr läppchen, C: zentral, P: parietal, F: frontal, T: temporal, O: okzipital; die präaurikulären Punkte (preaurical points) sowie das Nasion und das Inion dienen als Ausgangspunkte für die Bestimmung der Ableitungspunkte



vorzufinden (für ausführlichere Erläuterungen zur Alpha-Aktivität siehe Kap. 3.2). Ein aktiver Cortex wird durch Beta-Rhythmen ( $\beta$ -Wellen, 13 – 30 Hz) wiedergespiegelt. Einen Unterrhythmus der Beta-Aktivität stellt der Sensomotorische Rhythmus (SMR, 12 – 15 Hz) dar, der mit körperlicher Ruhe und einer entspannten Aufmerksamkeit verbunden ist (Sterman & Egner, 2006). Die schnellsten Schwingungen im menschlichen EEG sind die Gamma-Rhythmen ( $\gamma$ -Wellen, ab 30 Hz). Diese sind bei schwierigen kognitiven Aufgaben oder bei hoher Konzentration vorzufinden. In den Kapiteln 3.2 und 3.3 wird nun speziell auf die Alpha-Aktivität und auf die Hirnaktivität im Schlaf eingegangen.

## **3.2 Der Alpha-Rhythmus**

### **3.2.1 Kennzeichen und Variabilität des Alpha-Rhythmus**

Bei den meisten Menschen ist das Ruhe-EEG durch einen parietal bis okzipital auftretenden Alpha-Rhythmus gekennzeichnet. Dabei tritt normalerweise beim Schließen der Augen für mehrere Sekunden eine besondere Akzentuierung der Alpha-Aktivität auf, was man auch als Lidschluss- oder Off-Effekt bezeichnet (Zschocke & Hansen, 2012, Kap. 4). Hirnphysiologisch ist ein enger funktioneller Zusammenhang zwischen der Thalamus-Aktivität und dem Alpha-Rhythmus beobachtbar (Schreckenberger et al., 2004). Die Alpha-Aktivität kann sowohl inter- als auch intraindividuell deutlich variieren. Dabei zeigt die Alpha-Aktivität von altersgleichen Personen eine Standardabweichung von ca. 1 Hz (Klimesch, Schimke, Ladurner & Pfurtscheller, 1990). In Studien, die im Folgenden angeführt werden, konnte bisher herausgefunden werden, dass sich der vorherrschende Alpha-Rhythmus als eine Funktion des Alters, der Vigilanz, des neurologischen Gesundheitszustandes und der kognitiven Leistung darstellt (für einen Überblick siehe Klimesch, 1999).

Die Veränderung der Alpha-Aktivität mit dem Alter wurde bereits relativ gut untersucht. Samson-Dollfus, Delapierre, Marcolino und Blondeau (1997) konnten zeigen, dass von der frühen Kindheit bis zur Pubertät die Alpha-Aktivität zunimmt und dann im Laufe des Alters wieder abnimmt. Dabei ist die Alpha-Amplitude mit elf Jahren am höchsten und bleibt ab dem 16. Lebensjahr relativ konstant, bis sie dann ab 50 bis 60 Jahren wieder abnimmt. Trotz der

altersbedingten Abnahme zeigen die meisten älteren Personen, die nicht unter psychiatrischen oder neurologischen Problemen leiden, einen dominierenden Alpha-Rhythmus von über 9 Hz (Klimesch, 1999).

Kurzfristige Änderungen der Alpha-Aktivität einer Person lassen sich vor allem auf den aktuellen Vigilanz-Grad zurückführen. Cajochen, Brunner, Kräuchi, Graw und Wirz-Justice (1995) analysierten den Zusammenhang zwischen EEG-Veränderungen und dem Grad der Vigilanz. Unter konstanten Bedingungen wurden die Potential-Dichte und die subjektive Müdigkeit bei neun gesunden Frauen innerhalb einer 40 Stunden dauernden Wachphase untersucht. Die EEG-Potential-Dichte im Bereich von 6.25 bis 9.00 Hz (= Rhythmus, der dem Theta- und dem langsamen Alpha-Frequenzbereich entspricht) nahm genauso wie die subjektive Müdigkeit über die Zeit hinweg zu. Das Ergebnis steht im Einklang mit anderen Studien, wonach eine erhöhte Schläfrigkeit mit einer erhöhten Theta- und langsamen Alpha-Aktivität einhergeht (Klimesch, 1999). Ein Zusammenhang zwischen der Alpha-Aktivität und der Vigilanz zeigt sich auch mit Koffein oder Nikotin. Beide Substanzen steigern den Grad der Wachheit und bewirken eine Erhöhung der Peak Alpha-Frequenz (Angelakis, Lubar, Stathopoulo & Kounio, 2004; für eine Erläuterung der Peak Alpha-Frequenz siehe Kap. 3.2.2).

Eine veränderte Alpha-Aktivität zeigt sich auch bei einigen neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen. Ein Alpha-Rhythmus unter 8 Hz sollte bereits als irregulär eingeschätzt werden (Zschocke & Hansen, 2012, Kap. 4). Ein Beispiel für eine Erkrankung, die Auffälligkeiten im Alpha-Rhythmus zeigt, ist die Alzheimer Demenz. Bei dementen Personen findet man ein reduziertes Alpha-Potential und eine Verlagerung der Alpha-Aktivität von den hinteren hin zu den vorderen Aufnahmeelektroden (Klimesch, 1999). Psychiatrische und neurologische Erkrankungen, die mit einer verminderten dominierenden Alpha-Frequenz einhergehen, sind Schizophrenie, Schädel-Hirn-Traumata, das Chronisches Müdigkeitssyndrom und der hemisphärische Schlaganfall (Angelakis et al., 2004).

Der Zusammenhang zwischen dem Alpha-Rhythmus und kognitiven Funktionen wird in Kapitel 3.2.3 genauer erläutert.

### **3.2.2 Die individuelle Alpha-Frequenz**

Der Alpha-Rhythmus ist durch einen „Peak“, also durch ein umschriebenes Maximum im EEG-Spektrum charakterisiert. Dieser Peak stellt die höchste Potential-Schätzung im Alpha-Frequenz-Bereich dar und kennzeichnet die dominierende Alpha-Frequenz, die von Person zu Person variiert und deshalb auch als individuelle Alpha-Frequenz (IAF) oder als Peak Alpha-Frequenz (PAF) bezeichnet wird. Die inter- und intraindividuellen Unterschiede im Alpha-Rhythmus machen es unabdingbar, die traditionellen Frequenz-Grenzen aufzulösen und eine individuelle und situationsbedingte Anpassung dieser Grenzen vorzunehmen. Die über alle Phasen gemittelte dominierende Alpha-Frequenz sollte als Ausgangspunkt dienen, um die Frequenz-Bänder individuell anzupassen. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, im Alpha-Bereich zwischen drei Unterbändern zu unterscheiden (vgl. Klimesch, 1999). Das obere Alpha-Band („Upper Alpha“, UA) reicht von der IAF bis 2 Hz darüber, das untere Alpha-Band-2 von der IAF bis 2 Hz darunter und das untere Alpha-Band-1 ist als der Bereich zwischen der unteren Grenze des unteren Alpha-Band-2 bis zu 2 Hz darunter definiert. Unterer Alpha-Band-1 und -2 werden in dieser Arbeit als unteres Alpha („Lower Alpha“, LA) zusammengefasst. Der Theta-Bereich liegt unterhalb des unteren Alpha-Band-1. Die drei Alpha-Bänder haben jeweils einen unterschiedlichen Einfluss auf die kognitive Verarbeitung und das Gedächtnis (siehe Kap. 3.2.4).

Die IAF eines jungen gesunden Erwachsenen liegt im Bereich von ca. 9.5 bis 11.5 Hz, wobei sie, wie bereits im Kapitel 3.2.1 erwähnt, Schwankungen unterworfen ist. Deshalb ist es notwendig, die IAF bei jeder EEG-Ableitung neu zu bestimmen. Bei einer selektiven Erhöhung der langsamen Alpha-Frequenz kommt es zu einer Reduzierung der IAF. Wird hingegen nur der schnelle Alpha-Rhythmus erhöht, führt dies zu einer Steigerung der IAF (Klimesch, 1999).

### **3.2.3 Alpha-Frequenz und Kognition**

Anhand von Studien konnte gezeigt werden, dass eine hohe individuelle Alpha-Frequenz mit einer guten Gedächtnisleistung korreliert (für einen Überblick siehe Klimesch, 1999). Klimesch et al. (1990) fanden bei Alzheimer-PatientInnen heraus, dass jene Versuchspersonen, die eine gute Gedächtnisleistung zeigten, eine signifikant höhere mittlere EEG-Frequenz im

Alpha-Bereich aufwiesen als jene Personen mit einer schlechten Gedächtnisleistung. Außerdem beobachtete Klimesch (1997), dass bei Personen mit einer guten Gedächtnisleistung die durchschnittliche Alpha-Frequenz um etwa 1 Hz höher ist als die von altersgleichen Personen mit einer schlechten Gedächtnisleistung. Der Unterschied in der Alpha-Frequenz zwischen diesen beiden Gruppen zeigte sich bei einer verbalen Wiedererkennungsaufgabe. Am deutlichsten war er beim Abruf der gelernten Wörter ausgeprägt, wobei er beim Enkodieren der Wörter und im Ruhezustand immer noch das Signifikanz-Niveau erreichte. In einer weiteren Studie von Klimesch, Schimke und Pfurtscheller (1993) konnte anhand eines Gedächtnis-Such-Paradigmas gezeigt werden, dass die IAF Gedächtnis-Prozesse und keine aufmerksamkeitsbezogenen Vorgänge widerspiegelt. In dieser Studie wurde zudem beobachtet, dass die IAF bei Personen mit schlechten Gedächtnisleistungen während einer anspruchsvollen Aufgabe abnahm. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass sich die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung reduziert, wenn die Kapazitätsgrenze des Gedächtnisses erreicht ist.

Anokhin und Vogel (1996) untersuchten den Zusammenhang zwischen der Alpha-Frequenz und verschiedenen kognitiven Leistungen. Dabei fanden sie heraus, dass die Alpha-Frequenz mit den Ergebnissen des Raven Standard Progressive Matrices korreliert. Des Weiteren konnte man einen positiven Zusammenhang der durchschnittlichen und der Peak Alpha-Frequenz mit sprachbezogenen Aufgaben (Vervollständigung von Sätzen, Auswahl von passenden Wörtern, Konzeptualisierung und verbale Flüssigkeit) beobachten. Diesen Ergebnissen zu Folge hängt die Alpha-Aktivität mit der Fähigkeit zum logisch-analytischen Denken und mit verbalen Fähigkeiten zusammen. Die Alpha-Frequenz zeigte jedoch keine signifikante Korrelation mit der allgemeinen Intelligenz sowie mit räumlichen und arithmetischen Fähigkeiten. Demnach scheint der Alpha-Rhythmus eher mit spezifischen als mit allgemeinen kognitiven Fähigkeiten verbunden zu sein.

Angelakis et al. (2004) beschreiben die IAF als eine Art kognitive Bereitschaft. Diese Annahme stützen sie auf ihre Studie, in der EEG-Aufnahmen von jungen gesunden Erwachsenen vor und nach einer Arbeitsgedächtnisaufgabe (umgekehrtes Merken einer Zahlenfolge) analysiert wurden. Man fand eine

positive Korrelation zwischen der PAF und der Gedächtnisleistung. Im Detail korrelierte eine hohe IAF vor dem Test mit einer besseren Leistung während der Aufgabe. Des Weiteren erhöhte sich bei Individuen, die vor dem Test eine geringere IAF aufwiesen und somit nicht völlig auf die Aufgabe vorbereitet waren, ihre IAF während der Durchführung der Aufgabe. Dies zeigt, dass die PAF einen aktuellen Zustand, nämlich laut Autoren den der kognitiven Bereitschaft, widerspiegelt. In einem weiteren Experiment derselben Studie konnten die Autoren zeigen, dass die PAF nicht nur einen aktuellen Zustand, sondern auch ein generelles Merkmal der kognitiven Bereitschaft darstellt. Dies wurde dadurch verdeutlicht, dass die PAF von Personen mit einem Schädel-Hirn-Trauma nach einer Aufgabe signifikant geringer war als die PAF von altersgleichen gesunden Personen.

### **3.2.4 Alpha-Sub-Bänder und Kognition**

Ähnlich wie die IAF findet man auch bei den Alpha-Subbändern Korrelate zu kognitiven Fähigkeiten. Die Forschungsgruppe um Klimesch (für einen Überblick siehe Klimesch, 1999) untersuchte die Unterschiede zwischen dem oberen Alpha-Band und den beiden unteren Alpha-Bändern hinsichtlich der Reaktion auf kognitive Stimuli anhand der von Pfurtscheller und Aranibar (1997) entwickelten Methode der ereigniskorrelierten Desynchronisation („event-related desynchronisation“ = ERD). Die ERD ist als prozentuale Abnahme des Band-Potentials aufgrund eines gewissen „Ereignisses“ im Vergleich zu einem Referenz-Intervall definiert. Positive Werte zeigen eine Abnahme an, wohingegen negative Werte eine Zunahme des Band-Potentials bedeuten. Die Zunahme des Potentials wird auch als ereigniskorrelierte Synchronisation („event-related synchronisation“ = ESR) bezeichnet. ERD und ESR treten innerhalb einer Sekunde nach einem Ereignis auf (Klimesch, 1999).

In einer Studie zur Bedeutung der zwei unteren Alpha-Subbänder zeigten Klimesch, Doppelmayr, Russegger, Pachinger und Schwaiger (1998) mittels einer visuellen Oddball-Aufgabe, dass die beiden unteren Alpha-Bänder mit aufmerksamkeitsbezogenen Prozessen in Verbindung stehen, wobei das untere Alpha-Band-1 einem Zustand der Wachsamkeit und das untere Alpha-Band-2 einer allgemeinen Erwartungshaltung entspricht. Die Versuchspersonen sollten bestimmte visuelle Zielreize zählen und die anderen visuellen Stimuli



ignorieren. Dabei kündigte jedes Mal ein Warnsignal den Zielreiz (oder den Nicht-Zielreiz, je nach Aufgabe) an. Die Autoren nahmen an, dass das Warnsignal und der Zielreiz die Wachsamkeit steigern und dass die Zeit, ehe der Zielreiz oder der Nichtzielreiz auftreten, einen Zustand erhöhter Erwartung widerspiegelt.

Klimesch, Doppelmayr, Pachinger und Russegger (1997) zeigten, dass eine ereigniskorrelierte Potentialänderung im oberen Alpha-Band speziell mit der Verarbeitung semantischer Information verbunden ist, da eine signifikante Steigerung der Desynchronisation des oberen Alpha-Bandes lediglich in jenem Zeitintervall beobachtet werden konnte, in dem eine semantische Beurteilung stattfand. Dabei wurden den Versuchspersonen mehrere hintereinander präsentierte Wortpaare vorgegeben (zunächst ein Merkmal, dann ein Begriff) und sie mussten beurteilen, ob das jeweilige Merkmal-Begriffs-Paar semantisch kongruent ist oder nicht. Die Zunahme der ERD des oberen Alpha-Bandes war nur linkshemisphärisch zu beobachten, was im Einklang mit früheren Studien (wie beispielsweise bei Petersen, Fox, Posner, Mintun & Raichle, 1988) steht, wonach semantische Aufgabenanforderungen speziell mit linkshemisphärischer Aktivierung zusammenhängen. Klimesch et al. (1997) zeigten ferner, dass die Desynchronisation des oberen Alpha-Bandes während eines semantischen Beurteilungsprozesses für Personen mit einer guten semantischen Gedächtnisleistung signifikant höher ist als bei Personen mit einer schlechten semantischen Gedächtnisleistung. Außerdem fanden die Autoren während der semantischen Beurteilung positive Korrelationen zwischen der Desynchronisation des oberen Alpha-Bandes und der semantischen Gedächtnisleistung an frontalen, zentralen, temporalen und parietalen Hirnregionen. Das episodische Gedächtnis korrelierte signifikant mit der Theta-Synchronisation. Bei dieser Studie wurden den Versuchspersonen Merkmalwörter gezeigt, zu denen sie freie Assoziationen (=semantische Aufgabe) und das exakte zuvor gelernte Begriffs-Wortpaar (=episodische Aufgabe) hervorbringen mussten. Auf Grundlage der richtigen semantischen Assoziationen wurden die Versuchspersonen in Personen mit guter und schlechter semantischer Gedächtnisleistung aufgeteilt. Klimesch, Schimke und Schwaiger (1994) konnten ebenfalls feststellen, dass semantische Gedächtnisprozesse vor allem durch das obere Alpha-Band und episodische

Gedächtnisprozesse durch das Theta-Band wiedergespiegelt werden. Klimesch et al. (1996) untersuchten, ob anhand der Alpha-Desynchronisation während des Enkodierens von Informationen die spätere Abruf-Leistung vorhergesagt werden kann. Zehn StudentInnen mussten bei einer semantischen Beurteilungsaufgabe 96 Wörter verschiedenen Kategorien zuordnen („lebend“ oder „nicht lebend“). Im Anschluss sollten die ProbandInnen ohne Vorankündigung so viele Wörter wie möglich erinnern. Die StudienteilnehmerInnen wurden auf Grundlage dessen in Personen mit guter und schlechterer Gedächtnisleistung aufgeteilt. Es zeigte sich, dass bei jenen Personen mit einer guten Merkfähigkeit das Ausmaß der ereigniskorrelierten Desynchronisation im unteren Alpha-Bereich während des Enkodierens von erinnerten Wörtern signifikant höher war. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die ProbandInnen mit schlechterer Gedächtnisleistung im Vergleich zu jenen mit einer guten Abrufleistung während des Enkodierens weniger aufmerksam oder alarmiert waren.

Da die ereigniskorrelierten Desynchronisationen auf die Präsentation und die aktive Verarbeitung kognitiver Stimuli begrenzt sind, werden sie auch als phasische EEG-Veränderungen bezeichnet. Hinsichtlich der Beziehung zwischen den phasischen Veränderungen der Alpha-Aktivität und den kognitiven Korrelaten gilt, dass ein hoher Anteil der schnellen Alpha-Frequenz im Referenz-Intervall ein großes Ausmaß an Desynchronisation während der Aufgabenbearbeitung erlaubt, was wiederum mit einer guten kognitiven Leistung in Zusammenhang steht. Wenn mehrere kognitive Stimuli nacheinander präsentiert werden, folgt der anfänglichen ERD des oberen Alpha-Bandes nach der Stimulus-Präsentation eine Resynchronisation bzw. ein „Rebound“ des Potentials, was eine hohe ERD für die Verarbeitung des nächsten Stimulus ermöglicht (Klimesch, 1999).

Es existieren mehrere Studien, die die soeben beschriebene Deutung einer hohen Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich bekräftigen. So konnten Vogt, Klimesch und Doppelmayr (1998) eine positive Korrelation zwischen dem schnellen Alpha-Rhythmus und der Leistung bei einer Gedächtnisaufgabe zeigen. Hierzu wurde das EEG nach einer akustischen Präsentation von 60 Wörtern erfasst. Die obere Alpha-Frequenz war das einzige Frequenzband (innerhalb eines Frequenzbereichs von 4 bis 16 Hz) für das positive

Korrelationen zwischen dem relativen Potential und der Abrufleistung festgestellt werden konnten.

Klimesch, Sauseng und Gerloff (2003) führten eine Studie durch, bei der sie eine repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS) im Bereich der individuellen Alpha-Frequenz (IAF + 1 Hz) anwendeten. Das räumliche Vorstellungsvermögen wurde anhand einer mentalen Rotationsaufgabe erfasst. Als Kontrollbedingung wurde das rTMS noch im Bereich unterhalb der IAF (IAF – 3 Hz) und für 20 Hz gegeben. Es zeigte sich, dass das rTMS im Bereich von IAF + 1 Hz die Aufgabenleistung verbessern und die Desynchronisation im oberen Alpha-Bereich vergrößern konnte. Die rTMS in den beiden anderen Frequenzbereichen zeigte keine signifikanten Effekte.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse darauf hin, dass ein hoher Anteil an schnellen Alpha-Wellen mit einer hohen semantischen Gedächtnisleistung verbunden ist und ein geringer Anteil an langsamer Alpha-Aktivität guten aufmerksamkeitsbezogenen Prozessen entspricht.

### **3.3 Hirnaktivität im Schlaf**

Nachdem das EEG im Wachzustand mit Fokus auf die Alpha-Aktivität dargestellt wurde, soll nun die Hirnaktivität sowie die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf beschrieben werden.

#### **3.3.1 Schlafstruktur**

Schlaf ist durch periodisch wiederkehrende EEG-Veränderung gekennzeichnet, die es ermöglichen den Schlaf in mehrere Schlafstadien einzuteilen. Dabei lässt sich ein zyklischer Ablauf von NREM- (non-REM) und REM- (rapid-eye-movements) Phasen über die Nacht beobachten. REM-Phasen sind nach den schnellen Augenbewegungen benannt, wohingegen NREM-Phasen einen Schlaf ohne Augenbewegungen widerspiegeln. Die Unterteilung der Schlafstadien erfolgt auf Grundlage der Schlafstadien-Klassifikation von Rechtschaffen und Kales (1968). Anhand der Polysomnographie (PSG), also der Aufzeichnung des Schlafes, werden die Schlafstadien eingeteilt. Die PSG besteht mindestens aus dem Elektroenzephalogramm (EEG) zur Erfassung der Hirnströme, dem Elektrookulogramm (EOG) zur Messung der

Augenbewegungen und dem Elektromyogramm (EMG) zur Bestimmung des Muskeltonus. Zur Auswertung wird das Polysomnogramm (= Aufzeichnung aller schlafbezogenen Parameter) in der Regel in Epochen mit einer Dauer von 30 Sekunden unterteilt.

Den NREM-Schlaf teilt man entsprechend der Schlaftiefe in die Schlafstadien 1 bis 4 ein, wobei die Stadien 1 und 2 als Leichtschlaf und die Stadien 3 und 4 als Tiefschlaf bzw. Slow-Wave Sleep (SWS) bezeichnet werden.

Im Laufe einer Nacht durchläuft eine Person die nachfolgenden Schlafstadien (nach Kursawe & Kubicki, 2012, Kap. 5):

Im Stadium Wach (W) ist beim Schließen der Augen das EEG vor allem durch Alpha-Wellen, die die niedrigamplitudigen, hochfrequenten Wellen des aktiven Wachzustandes unterbrechen, gekennzeichnet.

Das Stadium 1 (S1) liegt dann vor, wenn die Alpha-Wachaktivität zerfällt und bei mehr als der Hälfte der Epochen eine unregelmäßige, meist relativ flache Theta-/Delta-Grundaktivität zu finden ist.

Das Stadium 2 (S2) unterscheidet sich vom S1 durch das Vorhandensein mindestens einer Schlafspindel und/oder eines K-Komplexes. Schlafspindeln sind kurze Wellenfolgen mit an- und absteigender Amplitude von 0.5 bis 1.5 Sek. Dauer. Mit einer Frequenz von 12 bis 15 Hz heben sie sich meist von der Grundaktivität ab. Ein K-Komplex besteht dagegen aus einer kleinen, schärferen negativen Komponente und einer langsamen, hochamplitudigen negativ-positiven Nachschwankung.

Das Stadium 3 (S3) ist durch Delta-Wellen von weniger als 4 Hz mit Amplituden von 75 µV oder mehr gekennzeichnet, wobei die Delta-Wellen zwischen 20 und 50% einer Epoche einnehmen müssen.

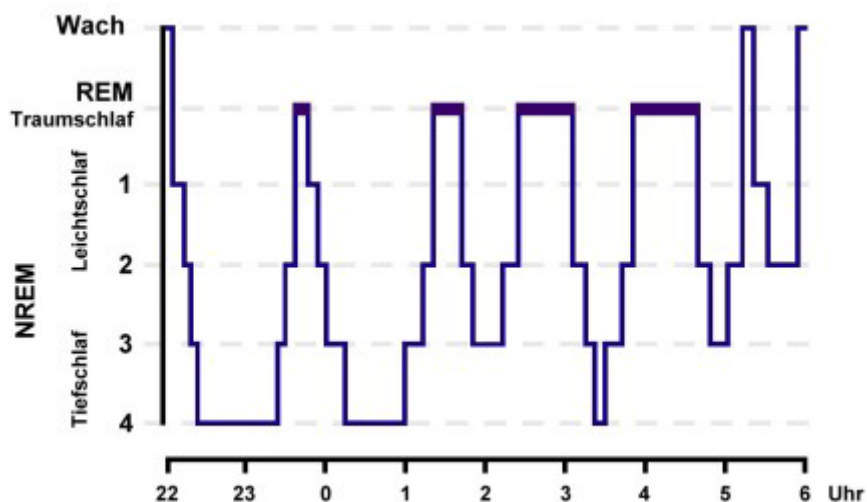
Stadium 4 (S4) liegt vor, wenn die soeben definierte Delta-Aktivität mehr als 50% einer Epoche einnimmt.

Im Stadium REM ist das EEG durch einen flachen Schlaf und dem Auftreten schneller Augenbewegungen gekennzeichnet. Typisch ist hier auch der verminderte bis aufgehobene Muskeltonus.

Bei gesunden Menschen beginnt der Schlafzyklus üblicherweise mit Stadium 1, anschließend folgen die Schlafstadien 2, 3 und 4. Nach ca. 70 bis 80 Minuten erreicht man die erste REM-Phase, die in etwa 5 bis 10 Minuten andauert. Ein Schlafzyklus dauert ungefähr 90 bis 110 Minuten. Während einer Nacht

durchläuft man durchschnittlich vier bis sechs Schlafzyklen. Mit fortschreitender Schlafdauer nimmt die Dauer der SWS-Phasen ab und die Länge des REM-Schlafes zu, das heißt der Tiefschlaf tritt vermehrt in der ersten Nachthälfte auf, wohingegen der REM-Schlaf in der zweiten Nachthälfte deutlicher ausgeprägt ist (Öhlmann, 2009). In Abbildung 2 wird der soeben beschriebene typische Schlafverlauf einer Nacht in einem Hypnogramm dargestellt. Bei einem Hypnogramm handelt es sich um das Profil des Schlafes, das sich aus den Ableitungen von EEG, EOG und EMG ergibt.

**Abbildung 2.** Hypnogramm (=Schlafprofil) eines Gesunden



Fette (2012)

### 3.3.2 Gedächtniskonsolidierung im Schlaf

Der Schlaf besitzt viele Funktionen. Dabei bemerken einige Menschen intuitiv, dass Schlaf auch für das Lernen und Merken neuer Inhalte förderlich ist. Erste Dokumentationen, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzten, stammen von Ebbinghaus, der sich in den 1880er Jahren vor allem mit Vergessensprozessen befasste und feststellte, dass Schlaf günstige Auswirkungen auf die Bildung von Gedächtnisinhalten hat. Er beobachtete, dass gelernte sinnlose Silben durch den Schlaf weniger schnell vergessen werden (Lahl, 2006). Knapp 40 Jahre später griffen Jenkins und Dallenbach (1924) diese Beobachtung wieder auf und führten erste systematische Untersuchungen darüber durch, wie sich Schlaf auf das Gedächtnis auswirkt.

Dabei konnten sie zeigen, dass Versuchspersonen nach einer Schlafperiode deutlich mehr direkt zuvor gelernte Nonsense-Silben erinnerten als nach einer gleich langen Wachperiode. Der Unterschied zwischen der Anzahl der nach dem Schlaf und nach der Wachphase erinnerten Wörter war umso größer, je länger die ProbandInnen geschlafen hatten. In weiteren Untersuchungen an größeren Stichproben konnte diese Beobachtung repliziert werden. So zeigte Newman (1939), dass sinnvolle Wörter nach einer direkt an das Erlernen anschließenden Schlafperiode besser erinnert werden konnten als nach einer Wachperiode. Auch Benson und Feinberg (1975) stellten fest, dass die Anzahl der erinnerten Silben sowohl nach 8 Stunden als auch nach 24 Stunden in etwa gleich groß war, wenn direkt nach dem Lernen geschlafen wurde. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Informationen durch den Schlaf längerfristig gespeichert werden. Gais, Lucas und Born (2006) zeigten, dass die Gedächtniskonsolidierung durch den Schlaf positiv beeinflusst wird und dass dieser Effekt unabhängig von circadianen Rhythmen, der Müdigkeit und der Interferenz vorliegt. Dabei wurde anhand von zwei Experimenten die Merkfähigkeit von Schülern beim Vokabellernen untersucht. Im ersten Experiment fand man eine Verbesserung der Merkfähigkeit, wenn unmittelbar nach dem Lernen geschlafen wurde. Zudem konnten die Autoren zeigen, dass die Abrufleistung sowohl nach 24 Stunden, als auch nach 36 Stunden nach dem Lernen ähnlich war. In einem zweiten Experiment durfte eine Versuchsgruppe nach dem Lernen von Vokabeln zu Bett gehen, während die zweite Gruppe erst am nachfolgenden Morgen schlafen ging. Der Abruf des gelernten Materials erfolgte 36 Stunden nach dem Lernen, sodass die Personen beider Gruppen eine Erholungsnacht hinter sich hatten und ausgeschlafen waren, wodurch der Faktor Müdigkeit ausgeschlossen wurde. Es konnte gezeigt werden, dass jene Personen, die direkt nach dem Lernen schliefen, bessere Ergebnisse erzielten.

Aufbauend auf den bisherigen Untersuchungsergebnissen resümierten Ellenbogen, Payne und Stickgold (2006), dass der Schlaf bei der Gedächtniskonsolidierung entweder eine begünstigende Rolle einnimmt, das heißt, dass er günstige Bedingungen für die deklarative Gedächtniskonsolidierung schafft oder dass er eine aktive Rolle besitzt, was beinhaltet, dass einzelne Bestandteile des Schlafes direkt in die

Gedächtniskonsolidierung involviert sind. Einen weiteren Überblick über den Einfluss des Schlafes auf die Gedächtniskonsolidierung (v.a. des deklarativen Gedächtnisses) liefert der Artikel von Born, Rasch und Gais (2006).

### **3.3.3 Tiefschlaf und deklarative Gedächtniskonsolidierung**

Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass Schlaf einen positiven Effekt auf die Gedächtniskonsolidierung besitzt. Nun stellt sich allerdings noch die Frage, welche Schlafparameter im Speziellen eine gute deklarative Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes bedingen. Dabei besteht aufgrund einiger Forschungsergebnisse (siehe fortfolgend) die Vermutung, dass vor allem tiefer Schlaf förderlich für die Verfestigung gelernter deklarativer Inhalte ist. Hierzu führten Plihal und Born (1997) eine Studie durch, in der sie die Auswirkungen von frühem im Vergleich zu spätem Nachtschlaf auf das deklarative und das prozedurale Gedächtnis untersuchten. Dabei fanden sie heraus, dass die deklarative Gedächtnisleistung – gemessen mittels Wortpaar-Assoziationstest (WPT) – von der ersten tiefschlafreichen Nachthälfte signifikant mehr profitiert als von der zweiten Nachthälfte. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass vor allem der Tiefschlaf (SWS) für die deklarative Gedächtniskonsolidierung entscheidend ist. Auch Tucker und Fishbein (2009) legen mit ihrer Untersuchung diese Vermutung nahe. Dabei verglichen sie den Einfluss einer ganzen (7.5 h) mit einer halben (3.5 h) Nacht, die mit Schlaf verbracht wurde, auf das deklarative und das prozedurale Gedächtnis. Als Ergebnis fanden sie heraus, dass die schlafbedingte Veränderung der deklarativen Gedächtnisleistung nach dem kürzeren Schlaf nahezu genauso gut war wie nach dem längeren Nachtschlaf. Dies bekräftigt die Hypothese der Autoren, nach der die ersten Stunden Schlaf, in denen der Tiefschlafanteil relativ hoch ist, die deutlichste Verbesserung hinsichtlich der deklarativen Gedächtnisleistung bewirken, wohingegen weitere tiefschlafarme Schlafstunden das Leistungsniveau nicht zusätzlich erhöhen. Der Einfluss des Tiefschlafes auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung wird auch durch die Studie von Backhaus et al. (2007) verdeutlicht. Diese gingen der Beobachtung nach, dass sich sowohl das Gedächtnis als auch die Schlafarchitektur (im Sinne eines geringeren Tiefschlafanteils) mit dem Älterwerden verändern. In die Studie wurden sowohl junge (18 – 25 Jahre) als auch ältere (48 – 55 Jahre)

Erwachsene eingeschlossen. Die deklarative Gedächtnisleistung und die Schlafstruktur wurden in beiden Gruppen in der ersten und der zweiten Nachthälfte erfasst und verglichen. Dabei konnte eine verringerte schlafgebundene deklarative Gedächtniskonsolidierung sowie ein reduzierter Tiefschlafanteil im frühen Nachtschlaf ( $62.3 \pm 3.7$  Min vs.  $18.4 \pm 7.2$  Min) bei der älteren Erwachsenenengruppe im Vergleich zu den jüngeren Erwachsenen beobachtet werden. Als Hauptergebnis ergab sich folglich ein signifikanter Zusammenhang der altersbedingten Abnahme der deklarativen Gedächtniskonsolidierung mit der Verringerung des Tiefschlafanteils im frühen Nachtschlaf.

Die soeben angeführten Studien sprechen für die Vermutung, dass speziell der Tiefschlaf die deklarative Gedächtniskonsolidierung begünstigt.

### **3.3.4 Der Tagschlaf**

Die bisher genannten Ergebnisse zeigen, dass der Nachtschlaf einen positiven Effekt auf die Verfestigung von gelernten Inhalten besitzt. Da sich allerdings ein „Nap“ unter Tag einer immer größeren Beliebtheit erfreut, stellt sich auch die Frage, welchen Einfluss eine kürzere Schlaf-Episode, die nicht in der Nacht stattfindet, auf das Gedächtnis ausübt. Hierzu werden im Folgenden Studien angeführt, die speziell diese Thematik behandeln. Schabus, Hödlmoser, Pecherstorfer und Klösch (2005) stellten beispielweise fest, dass ein 60-minütiger Tagschlaf einen positiven Einfluss auf die deklarative Gedächtnisleistung hat. Die Versuchspersonen zeigten bei der Wortpaar-Assoziationsaufgabe nach dem Tagschlaf eine signifikante Verbesserung der Leistung. Zudem fanden sie heraus, dass jene Personen ihre deklarative Gedächtnisleistung verbessern konnten, deren Nickerchen einen Tiefschlafanteil aufwies. Tucker et al. (2006) untersuchten den Einfluss eines Schläfchens tagsüber, welches lediglich durch NREM-Schlaf gekennzeichnet war, auf die Gedächtnisleistung. Dabei stellten sich heraus, dass der unmittelbar nach dem Lernen erfolgte Schlaf – verglichen mit einer äquivalenten Wachphase – lediglich die deklarative und nicht die prozedurale Gedächtnisleistung verbessert. Die Tiefschlafdauer korrelierte hier positiv mit der deklarativen Gedächtnisleistung. Lahl, Wispel, Willigens und Pietrowsky (2008) konnten feststellen, dass eine kurze Schlafperiode genügt, um die



Leistung des deklarativen Gedächtnisses zu verbessern. Bereits ein sechs-minütiges Nickerchen führte zu einer Verbesserung der deklarativen Gedächtnisleistung im Vergleich zu einer Wachperiode. Eine längere Schlafdauer (durchschnittlich 36 Minuten) bewirkte allerdings ein besseres Ergebnis als ein sechs-minütiger Nap.

Mednick, Cai, Kanady und Drummond (2008) untersuchten sowohl den Einfluss eines kurzen Tagschlafes (60 – 90 Minuten), als auch die Wirkung von Koffein und eines Placebos auf die verbale, motorische und wahrnehmungsbezogene Gedächtnisleistung. Um das verbale Gedächtnis zu erfassen, wurde eine assoziative Wortpaarliste vorgegeben, die nach einem sieben-stündigen Intervall (in dem die ProbandInnen entweder ein Nickerchen absolvierten oder eine Placebo- bzw. eine Koffein-Pille erhielten) abgefragt wurde. Es zeigte sich eine deutliche Überlegenheit der Nap-Bedingung gegenüber der Koffein- und der Placebo-Bedingung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der gedächtnisfestigende Effekt des Schlafens nicht durch die Reduzierung der Tagesmüdigkeit, sondern durch hirnpysiologische Prozesse, die während des Schlafes aktiv sind, zustande kommt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich nicht nur der Nachtschlaf positiv auf die Gedächtniskonsolidierung auswirkt, sondern bereits ein kurzer Tagschlaf eine bessere deklarative Gedächtnisleistung als eine äquivalente Wach-Phase bewirkt.

### **3.3.5 Modulation der deklarativen Gedächtniskonsolidierung im Schlaf**

Nachdem gezeigt werden konnte, dass Schlaf für die deklarative Gedächtniskonsolidierung förderlich ist, wird in diesem Kapitel nun der Frage nachgegangen, ob und wie sich die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf beeinflussen lässt. Tucker und Fishbein (2008) untersuchten diesbezüglich, ob die Art der Aneignung von Informationen einen Einfluss auf die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf besitzt. Sie testeten 33 Personen anhand eines Wortpaar-Assoziations-Tests. Die Testpersonen wurden einer Schlaf- oder einer Wachbedingung zugeteilt: in die Gruppe, die vor dem Retest schlafen durfte (Schlaf-Gruppe) oder in die Gruppe, die die ganze Zeit über wach bleiben musste (Wach-Gruppe). Um die Art und Weise, wie Informationen angeeignet werden, zu modulieren, wurde ein Teil der Wortpaare sofort nach

dem Erlernen abgefragt. Die anderen Wortpaare wurden nach dem Enkodieren nicht getestet, sondern erst beim Retest, der in etwa drei Stunden später erfolgte, abgefragt. Es wurden durch den Schlaf nur jene Wörter besser erinnert, die bereits während des Kodierens getestet wurden. Bei den nicht getesteten Wörtern unterschied sich die deklarative Gedächtnisleistung beim Retest zwischen der Schlaf- und der Wach-Gruppe nicht. Dies lässt vermuten, dass die Art und Weise, wie Informationen angeeignet werden, einen Einfluss auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes hat und dass generell der Nutzen des Schlafes durch die Stärke, mit der Informationen aufgenommen werden, moduliert wird.

Es wurde aber nicht nur die Art der Informationsaneignung, sondern auch der Schwierigkeitsgrad der zu lernenden Informationen als modulierender Faktor analysiert. Schmidt et al. (2006) untersuchten bei 13 männlichen Versuchspersonen den Effekt einer schweren Wortpaar-Assoziationsaufgabe, einer leichten Wortpaarassoziations-Aufgabe und einer Kontroll-Aufgabe (in der ebenfalls Wortpaare aufschienen, wobei in diesem Fall aber die Anzahl der Buchstaben mit gekrümmten Linien gezählt werden sollte) auf die schlafgebundene Gedächtniskonsolidierung. Nach dem Lernen durften die Probanden jeweils bis zu vier Stunden schlafen. Es zeigte sich im Vergleich zur Kontrollaufgabe, dass nur nach der schweren Enkodier-Bedingung im Schlaf die Spindelaktivität und die Spindeldichte im linken frontalen Cortex signifikant erhöht waren, bei der leichten Enkodier-Bedingung fand man keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollbedingung. Die Veränderungen im Schlaf-EEG korrelierten zudem positiv mit den Veränderungen der Abruf-Leistung von vor zu nach dem Schlaf. Dies macht deutlich, dass man auch die Beschaffenheit des Lernmaterials als modulierenden Faktor für schlafbezogene Veränderungen nach dem deklarativen Lernen von assoziativen Wortpaaren ansehen kann.

Hödlmoser et al. (2008) erzielten mittels SMR-Neurofeedbacktraining zwar eine positive Wirkung auf die deklarative Gedächtnisleistung und die Schlafarchitektur (Erhöhung der Anzahl der Schlafspindeln und Verringerung der Einschlaf latenz), die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes konnten sie allerdings durch das NFB nicht signifikant verbessern.

Marshall, Helgadóttir, Mölle und Born (2006) induzierten mittels transkranieller Stimulation langsame Schwingungen (0,75 Hz) während des NREM-Schlafes, wodurch der Tiefschlafanteil erhöht und die deklarative Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes – erhoben anhand eines WPTs – verbessert werden konnte.

## **4 Neurofeedback**

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln auf das Gedächtnis und die Hirnaktivität eingegangen wurde, soll im Folgenden erläutert werden, wie auf diese Variablen mittels Neurofeedback Einfluss genommen werden kann. Dabei wird zunächst die Methode des Neurofeedbacks erklärt. Im Anschluss daran werden Anwendungsmöglichkeiten erläutert, wobei ein besonderes Augenmerk auf dem Zusammenhang zwischen Neurofeedback und Kognition liegt.

### **4.1 Was ist Neurofeedback?**

Neurofeedback, auch EEG-Biofeedback genannt, stellt ein Verfahren dar, bei dem gelernt wird, die eigene Gehirnaktivität willentlich zu beeinflussen. Dabei wird die Hirnaktivität mittels Elektroenzephalogramm (EEG) abgeleitet und im Anschluss unmittelbar an die Person rückgemeldet (visuell, akustisch und/oder taktil). Gemäß dem Prinzip der operanten Konditionierung wird die sonst nicht bewusste Hirnaktivität durch positive Verstärkung willentlich kontrollierbar gemacht. Zu Beginn einer Neurofeedbackeinheit werden Elektroden an definierten Bereichen auf der Kopfhaut angebracht. Daraufhin werden die Gehirnströme mit Hilfe eines EEG-Verstärkers abgeleitet und der zu trainierenden Person rückgemeldet. Wenn es zu den erwünschten Veränderungen in einem vordefinierten Frequenzband kommt, wird der Person über den Computer unmittelbar ein positives Feedback gegeben. Dieser Stimulus soll als belohnender Reiz dienen und der Person anzeigen, dass sie erfolgreich war. Die Versuchsperson wird dazu angehalten, eine Strategie zu finden, um das Feedbacksignal in erwünschter Weise zu beeinflussen. Nach den Feedback-Einheiten soll die Person in der Lage sein, das trainierte Frequenzband auch ohne Rückmeldung in entsprechende Richtung zu

verändern. Das Neurofeedbacktraining-Protokoll wird durch die Elektrodenpositionen, die für das Feedback verwendet werden, durch das Frequenzband, das verändert werden soll, durch die Richtung der erwünschten Veränderung, durch die Feedbackmodalität (visuell, auditiv, taktil oder eine Kombination daraus) und durch die Anzahl, Häufigkeit und Dauer der einzelnen Neurofeedbacktraining-Einheiten definiert.

## **4.2 Anwendung von Neurofeedback**

Im klinischen Setting wird die Methode des Neurofeedbacks bereits bei zahlreichen Beschwerden bzw. Beeinträchtigungen wie etwa Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität oder aber auch Epilepsie angewendet. Serman, Wyrwicka und Roth (1969) untersuchten den Einfluss des Sensomotorischen Rhythmus bei Tieren. Dabei fanden sie heraus, dass ein Training des SMR zu mehr motorischer Ruhe führt. Auch beim Menschen bewirkt der SMR einen Rückgang des Muskeltonus (Serman & Friar, 1972). Untersuchungen an Epilepsie-PatientInnen zeigten, dass das Training des Sensomotorischen Rhythmus zu einer Reduktion der epileptischen Anfälle führt (für einen Überblick siehe Serman & Egner, 2006).

Die meisten Studien existieren bisher zur Anwendung von Neurofeedback bei ADHS, wobei Lubar und Shouse (1976) die Ersten waren, die ein NFT erfolgreich zur Behandlung der ADHS-Symptomatik einsetzten. ADHS ist durch Unaufmerksamkeit und/ oder Hyperaktivität und/ oder Impulsivität gekennzeichnet. Dabei ist das Training zur Erhöhung der Beta- und Verminderung der Theta-Aktivität die am häufigsten angewendete NFB-Form bei ADHS (Drechsler, 2011). Es konnten bereits einige Erfolge bei der Behandlung von ADHS mittels NFT erzielt werden, jedoch ist das NFB als Methode bei ADHS aufgrund unterschiedlicher Forschungsergebnisse noch nicht etabliert (Willis, Weyandt, Lubiner & Schubart, 2011).

Im Rahmen der Insomnie-Forschung führten Cortoos, De Valck, Arns, Breteler und Cluydts (2010) sowie Hammer, Colbert, Brown und Ilioi (2011) Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung des SMR durch. Dabei konnten Hammer et al. (2011) durch das SMR-Training bei den ProbandInnen eine Verbesserung der Schlaf- und Lebensqualität und der Schlaffeffizienz sowie eine Reduzierung

der Insomnie-Symptomatik erzielen. Cortoos et al. (2010) erreichten mittels SMR-Neurofeedback bei den StudienteilnehmerInnen eine subjektive Verbesserung der Schlafqualität, eine Verringerung der Einschlafzeit und eine Steigerung der Gesamtschlafzeit. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das SMR-Neurofeedback eine recht aussichtsreiche Methode zur Verbesserung des Schlafes ist.

Neurofeedbacktraining stellt zudem eine wertvolle Ergänzung in der Rehabilitation von neurologischen Störungen wie etwa Schädel-Hirn-Traumata und Schlaganfällen dar (Malkowicz & Martinez, 2009; Thornton & Carmody, 2009). Als äußerst vielversprechend zeigt sich auch die Behandlung von Alkoholkranken und Substanzabhängigen mit NFB. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass Erfolgsraten bei der Behandlung um das Zwei- bis Dreifache steigen, wenn man NFB zusätzlich zu den üblichen Behandlungskomponenten einsetzt (Sokhadze, Cannon, & Trudeau, 2008). Bei Posttraumatischen Belastungsstörungen kann das Alpha/Theta-Neurofeedback zur Verbesserung der Symptome führen (Smith, 2008). Weitere Krankheiten, bei denen die Methode des Neurofeedbacks positive Auswirkungen zeigt, sind unter anderem Angststörungen, Depressionen, Schlafstörungen, Kopfschmerz, Migräne, das chronische Müdigkeitssyndrom, Zwangsstörungen, Tinnitus, Schmerzen und Parkinsontremor (Hammond, 2011, Überblick). Bei gesunden Personen wurde das Neurofeedback bisher als Methode zur Verbesserung von kognitiven, kreativen, musikalischen oder sportlichen Leistungen verwendet (siehe Vernon, 2005). Positive Effekte des Neurofeedbacktrainings konnten im Speziellen auf die Leistung im Bogenschießen, Golf, Singen, Schauspielen, Tanzen, Musizieren und bei Tätigkeiten, die schnelle Reaktionen und visuell-räumliche Fähigkeiten benötigen, festgestellt werden (Hammond, 2011).

All diese Ausführungen machen deutlich, dass das Neurofeedback bereits ein breites Anwendungsspektrum besitzt. Im klinischen Setting konnte – wie soeben dargelegt – schon bei diversen Erkrankungen eine Verbesserung der Symptomatik erreicht werden, wobei die Methode besonders vielversprechend ist, da es sich im Gegensatz zur medikamentösen Behandlung um ein nicht-invasives Verfahren handelt. Aber auch im nicht-klinischen Bereich birgt der

Einsatz von Neurofeedbacktraining ein großes Potential zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit in verschiedenen Bereichen.

### **4.3 Neurofeedback und Kognition**

Eines der bedeutendsten Anwendungsgebiete von Neurofeedback ist der kognitive Bereich. Zum einen, da es für jedermann erstrebenswert sein kann, die eigene kognitive Leistungsfähigkeit zu verbessern und zum anderen, da gewonnene Erkenntnisse zur Verbesserung krankheitsbedingter Defizite eingesetzt werden können. Bei Gesunden ist die Grundidee des Neurofeedbacktrainings, dass durch die Methode Neurofeedback hirnhysiologisch jener Zustand hervorgerufen werden kann, der mit einer optimalen Leistungsfähigkeit in Zusammenhang steht. Dabei hängen die Veränderungen jeweils vom trainierten Rhythmus ab. Es existieren bereits einige Studien, die den Zusammenhang zwischen dem Training bestimmter EEG-Frequenzen und der kognitiven Leistung untersucht haben (für einen Überblick siehe Hödlmoser, 2007 und Vernon, 2005).

Das Training des Beta- und SMR-Bereiches bei gesunden Individuen basiert auf der Anwendung des Neurofeedbacktrainings bei ADHS-PatientInnen. So untersuchten Vernon et al. (2003) unter anderem den Einfluss des Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung des SMR und stellten fest, dass die StudienteilnehmerInnen nach acht NFB-Sitzungen in der Lage waren, ihre SMR-Aktivität selektive zu erhöhen. Bei diesen Personen konnte eine Verbesserung der semantischen Arbeitsgedächtnis- und der fokussierten Aufmerksamkeitsleistung erreicht werden. Egner und Gruzelier (2004) analysierten, wie sich das NFB des SMR bzw. des Beta-1-Bandes (15 – 18 Hz) auf kognitive Aspekte auswirkt. Alle Versuchspersonen (SMR-Gruppe, Beta-1-Gruppe und Kontrollgruppe) mussten eine Aufgabe zur Daueraufmerksamkeit durchführen. Die SMR-Gruppe zeigte nach dem Training eine verbesserte aufmerksamkeitsbezogene Verarbeitung, während bei der Beta-1-Gruppe schnellere Reaktionszeiten beobachtbar waren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das SMR-Training eine aufmerksamkeitsfördernde Wirkung und das Beta-1-Training einen Arousal-steigernden Effekt besitzt. Hödlmoser et al. (2008) nutzten ebenfalls das Training des Sensomotorischen Rhythmus, wobei

sie sich für den Einfluss des SMR-Neurofeedbacktrainings auf den Schlaf und die deklarative Gedächtnisleistung interessierten. Der Frequenzbereich des SMR entspricht im NREM-Schlaf dem Frequenzbereich der Schlafspindeln. Um die Auswirkungen des SMR-Neurofeedbacktrainings zu untersuchen erhielt die Versuchsgruppe zehn SMR-Trainingseinheiten und die Kontrollgruppe jeweils zehn NFB-Einheiten über eine zufällige EEG-Frequenz im Bereich von 7 bis 20 Hz. Die deklarative Gedächtnisleistung wurde vor und nach den zehn Trainingseinheiten mittels einer Wortpaar-Assoziationsaufgabe vor und nach einem 90-minütigen Mittagsschlaf erfasst. Dabei zeigte sich, dass die SMR-Amplitude in der Versuchsgruppe erhöht wurde und die Schlafspindelaktivität gesteigert sowie die Einschlaf latenz verringert werden konnte. Des Weiteren bewirkte das SMR-NFT eine Verbesserung der deklarativen Gedächtnisleistung. Daraus kann man schließen, dass die Erhöhung des SMR durch zehn Neurofeedbacktrainings einerseits einen positiven Einfluss auf den Schlaf, insbesondere auf die Schlafspindelaktivität und die Einschlaf latenz hat und dass sie andererseits zu einer Verbesserung der deklarativen Gedächtnisleistung führt.

Die Anwendung des Neurofeedbacks im oberen Alpha-Frequenzbereich beruht auf den Zusammenhängen zwischen den schnellen Alpha-Wellen und der kognitiven Leistung (insbesondere dem semantischen Gedächtnis, siehe Kap. 3.2.4). Hanslmayr et al. (2005) zeigten in ihren Untersuchungen die Auswirkungen einer einzelnen NFB-Sitzung auf die kognitive Leistung. Die ProbandInnen sollten beim Neurofeedbacktraining entweder ihre Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich erhöhen oder die Theta-Aktivität reduzieren. Vor, zwischen und nach dem NFT wurde eine mentale Rotationsaufgabe vorgegeben. Es stellte sich heraus, dass nur jene Personen ihre Leistung in der Aufgabe verbessern konnten, die in der Lage waren, ihr Upper Alpha durch das NFT zu erhöhen. Jene, die ihre schnellen Alpha-Wellen nicht erhöhen konnten sowie jene, die das NFT über ihre Theta-Aktivität erhielten (unabhängig davon, ob sie die Theta-Aktivität reduzieren konnten oder nicht), erzielten keine Leistungsverbesserung. Des Weiteren fand man bei jenen Personen, die auf das NFT zur Erhöhung des schnellen Alpha-Frequenz-Bereiches ansprachen, eine Zunahme des Upper Alphas im Referenzintervall. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Studien (vgl. Klimesch, 1999), wonach eine erhöhte

Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich im Referenzintervall mit einer guten kognitiven Leistung zusammenhängt. Eine ähnliche Untersuchung führten Zoefel et al. (2011) durch. Sie interessierten sich ebenfalls für den Einfluss des Trainings der schnellen Alpha-Frequenz auf die Arbeitsgedächtnisleistung. Dabei mussten die Testpersonen fünf NFB-Sitzungen absolvieren, um ihren Alpha-Rhythmus hin zu den schnellen Bereichen zu trainieren. Es zeigte sich, dass 11 der 14 Personen ihre schnelle Alpha-Komponente willentlich beeinflussen konnten. Die schnellen Alpha-Wellen wurden bei diesen 11 ProbandInnen unabhängig von anderen Frequenzbändern erhöht. Außerdem war die Verbesserung der kognitiven Leistung in der NFB-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant höher. Folglich ging eine erhöhte kognitive Leistungsfähigkeit mit einer erhöhten Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich einher.

Die angeführten Studien verdeutlichen, dass Gehirnströme mittels Neurofeedback trainiert werden können und dass dieses Training einen Einfluss auf kognitive Aspekte ausüben kann. Dabei konnte mit Hilfe des NFBs zur Erhöhung des SMR eine Verbesserung der aufmerksamkeitsbezogenen Verarbeitung, der semantischen Arbeitsgedächtnisleistung und der deklarativen Gedächtnisleistung sowie eine Beeinflussung der Schlafstruktur erzielt werden. Die Auswirkungen des Neurofeedbacktrainings des benachbarten schnellen Alpha-Rhythmus wurden bisher lediglich hinsichtlich der Arbeitsgedächtnisleistung untersucht, wobei das NFB eine Verbesserung der Leistung in mentalen Rotationsaufgaben bewirkte. Der Einfluss des Upper Alpha-Neurofeedbacktrainings auf andere kognitive Fähigkeitsbereiche wurde dagegen noch nicht behandelt und soll deshalb Gegenstand dieser Arbeit sein.

## **5 Zusammenfassung**

Eine hohe individuelle Alpha-Frequenz steht mit guten kognitiven Leistungen in Verbindung. Basierend auf dem individuellen EEG-Spektrum zeigt sich, dass ein hoher Anteil an schnellen Alpha-Wellen mit einer guten Verarbeitung semantischer Informationen verbunden ist. Dagegen hängen die langsamen Alpha-Wellen mit aufmerksamkeitsbezogenen Prozessen zusammen (Klimesch, 1999). Um die IAF zu steigern muss die Alpha-Aktivität im oberen



Frequenzbereich erhöht und im unteren Frequenzbereich gesenkt werden. Studien konnten einen positiven Effekt des Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung der schnellen Alpha-Komponenten auf das räumliche Vorstellungsvermögen zeigen (Hanslmayr et al., 2005; Zoefel et al., 2011). Der Einfluss von Neurofeedback auf das deklarative Gedächtnis und den Schlaf wurde bisher nur hinsichtlich des Sensomotorischen Rhythmus untersucht, wobei das Neurofeedbacktraining zur Erhöhung des SMR eine gesteigerte deklarative Gedächtnisleistung und eine Verbesserung der Schlafqualität bewirkte (Hödlmoser et al., 2008; Hammer et al., 2011). Schlaf ist förderlich für die Verfestigung von deklarativen Inhalten im Gedächtnis (Born et al., 2006). Insbesondere der Tiefschlaf wirkt sich positiv auf die deklarative Gedächtniskonsolidierung aus (Plihal & Born, 1997; Tucker & Fishbein, 2009). Entscheidend ist, dass nicht nur der Nachtschlaf, sondern auch der Tagschlaf einen Gedächtnis-festigenden Effekt hat. Die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes konnte in bisherigen Studien durch die Art und Weise, wie Informationen angeeignet werden (Tucker & Fishbein, 2008), durch den Schwierigkeitsgrad des Lernmaterials (Schmidt et al. 2006) sowie durch transkranielle Stimulation mittels langsamer Schwingungen während des NREM-Schlafes (Marshall et al., 2006) moduliert werden.



## **EMPIRISCHER TEIL**

## 6 Ziel der Studie

Bisherige Studien konnten zeigen, dass das Neurofeedbacktraining des Sensomotorischen Rhythmus zu einer Verbesserung der deklarativen Gedächtnisleistung und der Schlafqualität führt (Cortooos et al., 2010; Hammer et al., 2011; Hödlmoser et al., 2008). Eine Erhöhung der benachbarten schnellen Alpha-Aktivität mittels rTMS und NFB wurde lediglich hinsichtlich der Arbeitsgedächtnisleistung betrachtet (Klimesch et al., 2003; Hanslmayr et al., 2005; Zoefel et al., 2011). Inwieweit sich eine Steigerung der schnellen Alpha-Komponenten auf die deklarative Gedächtnisfunktion und den Schlaf auswirkt soll in vorliegender Arbeit untersucht werden. Das Ziel dabei ist, den Einfluss der Erhöhung des Alpha-Bandes im oberen Frequenzbereich mittels akustischem Neurofeedback auf die deklarative Gedächtnisleistung, den Schlaf und die schlafbedingte Veränderung der Gedächtnisleistung zu erfassen. Im Speziellen soll erörtert werden, ob die anhand von NFB induzierte Steigerung der schnellen Alpha-Anteile ein leistungsfähiges Mittel zur Erleichterung und Optimierung des deklarativen Lernens ist und zur Verbesserung der Schlafqualität sowie der Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes führt. Hierzu wurde ein Neurofeedbackprotokoll erstellt, das bei jungen gesunden Erwachsenen eine Verschiebung des Alpha-Potentials hin zu seinen schnellen Komponenten bewirken sollte. Dies sollte durch eine Erhöhung des Verhältnisses Upper Alpha zu Lower Alpha (UA/LA) erfolgen. Die Analyse der Daten basiert zum einen auf einem Gruppenvergleich zwischen Personen, die ein Neurofeedbacktraining erhielten (NFT-Gruppe) und Personen ohne Training (Kontrollgruppe) und zum anderen auf dem Vergleich der untersuchten Variablen (= Anzahl erinnerter Wörter beim WPT, objektive Schlafparameter und subjektive Angaben zur Befindlichkeit) vor und nach dem Neurofeedbacktraining. Signifikante Verbesserungen der deklarativen Gedächtnisleistung, des Schlafes und/oder der Veränderung der deklarativen Gedächtnisleistung während des Schlafes in der NFT-Gruppe (nach dem Training) würden von einem positiven Effekt der Erhöhung der Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich zeugen. Dabei könnte bei gezeigter Wirksamkeit das genannte Training gezielt zur Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit (insbesondere beim Lernen) und zur Verbesserung der

Schlafqualität eingesetzt werden. In Folge könnte man außerdem das Training der schnellen Alpha-Komponenten für die Behandlung von Krankheiten, die häufig mit einer Beeinträchtigung der Merkfähigkeit einhergehen (wie z.B. bei Demenz, Schädel-Hirn-Traumata oder Schlaganfall), nutzen.

## 7 Fragestellungen und Hypothesen

### 7.1 Deklarative Gedächtnisleistung

Aufgrund von vorhergehenden Studien (siehe Kap. 3.3.2) konnte gezeigt werden, dass durch Schlaf das Gedächtnis verfestigt wird. Lahl et al. (2008) und Schabus et al. (2005) beobachteten jeweils eine Verbesserung der deklarativen Gedächtnisleistung nach einem Tagschlaf, weshalb in der vorliegenden Studie erwartet wird, dass nach einem Nap von 90 Minuten mehr Wörter als vor dem Nap erinnert werden können und die Abrufleistung somit nicht der sonst im Wachzustand zu erwartenden Vergessens-Kurve folgt. Hieraus ergibt sich folgende Hypothese:

*1a) Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen der Abrufleistung vor und nach dem Nap*

Hödlmoser et al. (2008) fanden positive Auswirkungen des Neurofeedbacktrainings des Sensomotorischen Rhythmus auf die deklarative Gedächtnisleistung, weshalb sich nun die Frage stellt, ob das Neurofeedbacktraining zur Erhöhung des benachbarten schnellen Alpha-Rhythmus einen Einfluss auf die deklarative Gedächtnisfunktion hat. Dementsprechend können folgende zwei Hypothesen formuliert werden:

*1b) Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe am zweiten Testtag*

*1c) Es gibt einen signifikanten Unterschied in der Abrufleistung zwischen erstem und zweitem Testtag in der NFT-Gruppe*

## 7.2 Deklarative Gedächtnisleistung und Schlaf

Die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes konnte in der vorhergehenden Wachphase bisher durch die Art und Weise, wie Informationen aufgenommen werden (Tucker & Fishbein, 2008) und den Schwierigkeitsgrad der zu lernenden Informationen (Schmidt et al., 2006) moduliert werden. In der vorliegenden Arbeit ist von Interesse, ob eine Modulation der schlafbedingten Veränderung der deklarativen Gedächtnisleistung durch das UA/LA-Neurofeedbacktraining erfolgen kann. Daraus ergeben sich zwei Hypothesen:

*2a) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafassoziierten Veränderung der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe am zweiten Testtag*

*2b) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafassoziierten Veränderung der Abrufleistung zwischen erstem und zweitem Testtag in der NFT-Gruppe*

## 7.3 Schlaf

Cortoos et al. (2010), Hammer et al. (2011) und Hödlmoser et al. (2008) erzielten mittels SMR-Neurofeedbacktraining eine Verbesserung der Schlafqualität, was sich unter anderem in einer verringerten Einschlaf latenz, einer vergrößerten Spindelanzahl, einer verlängerten Gesamtschlafzeit und einer besseren subjektiven Befindlichkeit äußerte. Deshalb stellt sich nun die Frage, ob das Neurofeedbacktraining zur Erhöhung der schnellen Alpha-Komponenten einen Effekt auf die Schlafqualität besitzt. Diesbezüglich lassen sich folgende Hypothesen formulieren:

*3a) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der objektiven Schlafparameter zwischen NFT-Gruppe und Kontrollgruppe am zweiten Testtag*

*3b) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der objektiven Schlafparameter zwischen erstem und zweitem Testtag in der NFT-Gruppe*

*3c) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit zwischen NFT-Gruppe und Kontrollgruppe am zweiten Testtag*

*3d) Es gibt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit zwischen erstem und zweitem Testtag in der NFT-Gruppe*

## **7.4 Zusammenhänge zwischen deklarativem Gedächtnis, Schlaf und subjektiven Angaben**

In vorhergehenden Studien konnte mitunter ein positiver Zusammenhang der Veränderung der Abrufleistung und der Tiefschlafdauer festgestellt werden (Backhaus et al., 2007; Schabus et al., 2005). Zu guter Letzt ist deshalb noch von Interesse, ob es in der NFT-Gruppe nach dem Neurofeedbacktraining, sprich am zweiten Testtag, Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen gibt. Hierbei ergeben sich folgende Hypothesen:

*4a) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Abrufleistung und den objektiven Schlafparametern*

*4b) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit*

*4c) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und den objektiven Schlafparametern*

*4d) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit*

*4e) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen den objektiven Schlafparametern und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit*

## **8 Material und Methodik**

### **8.1 Studiendesign**

Die Studie zum Einfluss eines akustischen Neurofeedbacks auf die Gedächtnisleistung und den Schlaf wurde in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Universität Wien durchgeführt. Der Untersuchungszeitraum betrug pro Person in etwa 16 Tage (siehe Tab. 1). An der Studie nahmen insgesamt 20 junge, gesunde Erwachsene (Frauen: n=10; Männer: n=10) im Alter von 18 bis 30 Jahren teil. Alle TeilnehmerInnen waren StudentInnen, Nicht-RaucherInnen und RechtshänderInnen. Um eine möglichst homogene Stichprobe zu erhalten, mussten die ProbandInnen in einer Eingangsuntersuchung eine Reihe von Fragebögen ausfüllen (siehe Kap. 8.2 Untersuchungsverfahren) sowie die Wechsler Memory Scale – Revised (WMS-R, Haerting et al., 2000) und den Advanced Progressive Matrices (APM, Raven & Kratzmeyer, 1980) bearbeiten.

Die Ausschlusskriterien der Studie wurden wie folgt festgelegt:

- Personen mit gegenwärtiger oder vergangener Drogenabhängigkeit oder Habituation
- Personen, die sich nicht an das Studienprotokoll halten können oder wollen
- Personen, die psychoaktive Substanzen oder andere Medikamente, die sich negativ auf die Studienteilnahme auswirken können, einnehmen
- Personen, die eine schlechte Schlafqualität besitzen (wenn der Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI > 5)
- Personen, die erhöhte Ängstlichkeitswerte aufweisen (wenn der Rohwert der Self-Rating Anxiety Scale, SAS > 36)
- Personen, die erhöhte Depressivitätswerte aufweisen (wenn der Rohwert der Self-Rating Depression Scale, SDS > 40)



- Personen, die einen unregelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus haben (Nacht- und/oder Schichtarbeit)
- Personen, die durchschnittlich weniger als 6 Stunden pro Nacht schlafen
- Personen, die üblicherweise vor 22.00 Uhr oder nach 00.00 Uhr zu Bett gehen

Die drei letztgenannten Punkte wurden anhand des Fragebogens zum Chronotyp (D-MEQ von Griefahn, Künemund, Bröde & Mehnert, 2001) und anhand eines Schlaftagebuchs kontrolliert.

Die StudienteilnehmerInnen wurden zufällig der Versuchsgruppe, die während des Untersuchungszeitraums ein Neurofeedback-Training erhielt, oder der Kontrollgruppe (ohne Training) zugeteilt, wobei das Geschlecht in beiden Gruppen gleichverteilt war. Alle ProbandInnen wurden vor der Studie über Ziele und Durchführung der Untersuchung informiert. Die Teilnahme an der Studie wurde mit einer finanziellen Aufwandsentschädigung entlohnt. Während der gesamten Untersuchung (NFB-Training, Lernaufgabe, Schlaf) wurde das EEG abgeleitet. Dies diente unter anderem der Bestimmung der individuellen Alpha-Frequenz und der Einteilung der Schlafstadien.

Der zeitliche Ablauf der kompletten Untersuchung ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1.** Untersuchungsablauf für Kontroll- und NFT-Gruppe

	<b>Fragebögen vorab</b>	<b>Eingangs- untersuchung</b>	<b>Testtag 1 (Tag 1)</b>	<b>Tag 2-14</b>	<b>Testtag 2 (Tag 15)</b>
<b>Kontroll- gruppe</b>	SAS, SDS, PSQI, D-MEQ	APM WMS-R	WPT 1	–	WPT 2
	-		Schlaftagebuch		
<b>NFT- Gruppe</b>	SAS, SDS, PSQI, D-MEQ	APM WMS-R NFT-1	WPT 1	NFT 2-10	NFB WPT 2
	-		Schlaftagebuch		

Nach der Eingangsuntersuchung erfolgte wenige Tage darauf der erste Testtag (Tag 1). Dieser diente der Erfassung der deklarativen Gedächtnisleistung mittels einer Wortpaar-Assoziationsaufgabe (WPT). Nach dem ersten Testtag folgten 13 Tage, in denen die NFT-Gruppe 9 NFB-Trainingseinheiten

absolvierte. Die Kontrollgruppe erhielt in den 13 Tagen keinerlei Training oder alternative Testungen. Der zweite Testtag (Tag 15) fand unmittelbar im Anschluss an diese 13 Tage statt. Dieser war ident dem ersten Testtag, nur dass die NFT-Gruppe nun vor der Lernaufgabe eine kurze Neurofeedback-Einheit erhielt. Beide Gruppen mussten während der gesamten Untersuchungszeit ein Schlaftagebuch führen, um einen regelmäßigen Schlaf-Wach-Rhythmus zu kontrollieren. Der zeitliche Ablauf der Testtage ist in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2.** Zeitlicher Ablauf der Testtage

9.00 – 11.00	11.00 – 13.00			13.00 – 14.00	14.00 – 15.30	15.30 – 16.15	16.15 – 17.00	
VAS1	VAS2		VAS3	Mittagspause		VAS5	VAS6	VAS 7
	<b>1.ENC</b>	<b>2.ENC</b>	<b>1.RET</b>		<b>NAP</b>		<b>2.RET</b>	
Elektroden-platzierung	2-Min Pause	10-Min Pause		VAS4		Pause		Elektroden-entfernung

## 8.2 Untersuchungsverfahren

### 8.2.1 EEG-Aufnahmen

Das EEG wurde während der gesamten Untersuchungszeit aufgezeichnet. In der vorliegenden Studie wurde das Alpha-Trace System (32-Kanal System der Fa. B.E.S.T Medical Systems, Wien) herangezogen, das zur EEG-Aufnahme, quantitativen EEG Analyse, Videometrie und Anwendung von Neurofeedback verwendet wurde.

Das EEG wurde mit Hilfe von Goldnapfelektroden (Grass F-E5GH, Grass Technologies, West Warwick, RI, USA) abgeleitet, wobei die Elektroden nach dem 10-20-System (siehe Abb. 1) am Kopf der ProbandInnen angebracht wurden. Zusätzlich zum EEG wurde bei allen Aufnahmen das Elektrookulogramm (EOG) links vom linken Auge, rechts vom rechten Auge sowie oberhalb und unterhalb des rechten Auges angebracht, um den Lidschlag mit zu erfassen. Außerdem wurden mit Hilfe von Atemgurten an Thorax und

Abdomen die Atembewegungen und mit Hilfe von Pulsmessgeräten an beiden Handgelenken das Elektrokardiogramm (EKG) aufgezeichnet. Zudem wurde während des Schlafes das Elektromyogramm an zwei Kinnelektroden erfasst. Während aller EEG-Aufzeichnungen (außer während des Schlafes) wurden die ProbandInnen mittels Videoaufnahme aufgezeichnet. An den beiden Wortpaar-Testtagen (inklusive der Schlafaufzeichnungen) wurde das EEG an frontalen (FPZ, FP1, FP2, FZ, F3, F4, F7, F8), zentralen (Cz, C3, C4), temporalen (T3, T4, T5, T6), parietalen (P3, P4) und okzipitalen (Oz, O1, O2) Elektrodenpositionen sowie an den beiden Mastoid-Elektroden (A1, A2) abgeleitet. Zudem wurden eine Masseelektrode auf der Stirn der ProbandInnen und eine Referenzelektrode in der Mitte zwischen Fz und Cz angebracht. Beim Neurofeedbacktraining wurde das EEG an frontalen (F3, F4), zentralen (C3, C4), temporalen (T3, T4), parietalen (P3, P4) und okzipitalen (O1, O2) Positionen erfasst. Die Masseelektrode wurde ebenfalls an der Stirn angebracht. Die Referenzelektroden bildeten hier die beiden Mastoid-Elektroden (A1, A2). P3 und P4 wurden für das Feedback verwendet (Begründung siehe Kap. 8.2.2; graphische Darstellung der Ableitungspunkte siehe Abb. 1).

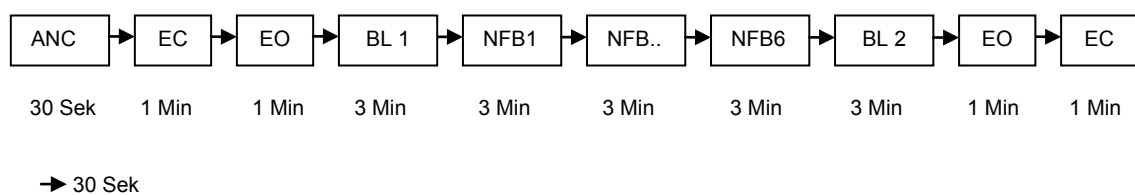
Die Impedanz wurde während der EEG-Aufzeichnungen zwischen 5 und 10 k $\Omega$  gehalten. Die Filter-Werte betrugen 0.3 Hz für den Hochpass-Filter und 70 Hz für den Tiefpass-Filter.

### **8.2.2 Akustisches Neurofeedback**

Die Versuchsgruppe absolvierte während der Studienteilnahme zehn akustische Neurofeedback-Sitzungen und ein kurzes Neurofeedback jeweils vor den beiden Lerndurchgängen am zweiten Testtag. Vor jeder NFB-Sitzung wurde die IAF innerhalb eines 30-sekündigen Ruhe-EEGs, bei dem die Augen geschlossen waren, ermittelt. Dieses 30-Sekunden-Intervall, in dem die IAF bestimmt wurde, wird in dieser Arbeit mit ANC für Ancor, also Ausgangsintervall, bezeichnet. Das obere Alpha-Band und das untere Alpha-Band wurden jeweils gemäß der Beschreibung von Klimesch (1999) bestimmt (siehe Kap. 3.2.2). Für das Feedback wurden die beiden Elektrodenpositionen P3 und P4 verwendet. Die Alpha-Sub-Bänder wurden dabei für jede Elektrode separat ermittelt um mögliche Unterschiede zwischen den beiden Hemisphären

abbilden zu können. Der Grund, warum die parietalen Elektroden für die Feedbackgebung verwendet wurden ist, dass sie im Vergleich zu anderen Elektrodenpositionen resistenter gegenüber Artefakten sind und ein ausreichend großes Band-Potential im Feedback-Frequenzbereich erfassen. Jede NFB-Sitzung bestand aus sechs mal drei Minuten Trainings-Einheiten mit dazwischenliegenden Pausen von 30 Sekunden (siehe Abb. 3).

**Abbildung 3.** Ablauf einer Neurofeedbacksitzung; EC = Augen geschlossen; EO = Augen geöffnet; BL = Baseline; ANC = Ausgangsintervall; NFB = Neurofeedback



Die erste Trainings-Sitzung erfolgte am Tag der Eingangsuntersuchung direkt im Anschluss an die kognitiven Tests. Die weiteren neun NFTs absolvierten die ProbandInnen am Vormittag zu immer der gleichen Uhrzeit.

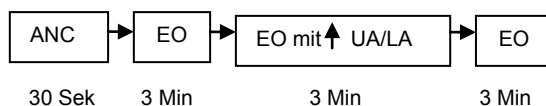
Bei einer NFB-Sitzung saßen die Versuchspersonen auf einem Stuhl vor einem Bildschirm und trugen Kopfhörer. Sie wurden dazu aufgefordert, sich während des Trainings ruhig zu halten und möglichst wenig zu bewegen. Außerdem wurden sie instruiert, beim Neurofeedbacktraining mehrere Strategien anzuwenden und sich die Strategien sowie deren Erfolg zu merken.

Um die IAF zu definieren und die Leistungsgrenzen zu ermitteln, wurden vor und nach dem Feedback verschiedene EEG-Aufnahmen (ANC, Baseline BL, Eyes Closed EC, Eyes Open EO) durchgeführt. Bei der ANC-Aufnahme mussten die Versuchspersonen ruhig sitzen und die Augen schließen. Gleiches galt für die EC-Intervalle (Augen geschlossen, keine Musik). In den EO-Intervallen (Augen geöffnet, keine Musik) sollten die ProbandInnen ihre Augen öffnen und das Standbild (= Mohnblume in einer Wiese) fixieren. Da die Alpha-Aktivität durch akustische und visuelle Inputs beeinflusst wird, war es zudem nötig, eine Baseline zu erheben, die mit dem Feedbackszenario bis auf die Tatsache, dass kein EEG-Feedback gegeben wurde, vergleichbar war. Hierzu mussten die TeilnehmerInnen mit ihren Augen das Standbild fixieren, während sie gleichzeitig über die Kopfhörer die Feedbackmusik hörten, die aber kein

Feedback über das eigene EEG-Muster gab, sondern willkürlich variierte. Die jeweiligen Minima und Maxima der Alpha-Sub-Bänder während der BL bildeten die Leistungsgrenzen für das NFB.

Da die Personen durch das NFB lernen sollten, ihre Alpha-Aktivität willentlich zu kontrollieren, mussten die ProbandInnen ab der siebten Trainings-Sitzung in weiteren Aufnahmen im Anschluss an das NFT versuchen, den im Feedback erlernten Zustand (ein möglichst hohes Verhältnis von Upper Alpha zu Lower Alpha) herbeizuführen, ohne dabei ein Feedback zu erhalten (Ablauf siehe Abb. 4). Hierzu mussten sie nach einem erneuten ANC-Intervall zunächst drei Minuten lang das Standbild fixieren. Im Anschluss daran sollten sie wiederum drei Minuten lang das Standbild fixieren, wobei sie nun versuchen sollten, den Zustand, den sie im NFB trainiert hatten, willentlich herbeizuführen, ohne dabei eine Rückmeldung zu erhalten. Nach diesem Intervall folgten abermals drei Minuten in denen sie nur mehr das Standbild fixieren mussten, ohne den erlernten Zustand herbeizuführen.

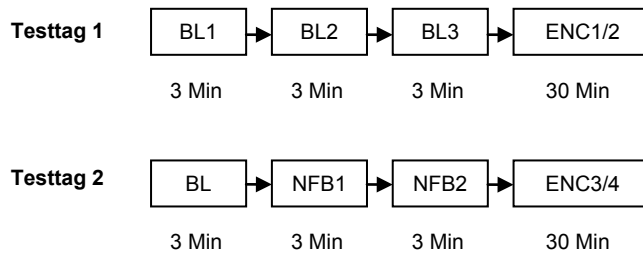
**Abbildung 4.** Zusätzliche Aufnahmen ab der siebten NFB-Sitzung zur Überprüfung des Trainingserfolges



➔ 30 Sek

Am zweiten Testtag erhielt die NFT-Gruppe unmittelbar vor dem Lernen der Wortpaare nochmals eine kurze Neurofeedback-Einheit, bei der die Personen die erlernten Strategien anwenden und so das UA/LA-Verhältnis erhöhen sollten. Die EEG-Aufzeichnungen in der NFT-Gruppe vor den Lerndurchgängen der WPTs werden in Abbildung 5 dargestellt.

**Abbildung 5.** EEG-Aufzeichnungen vor den Lerndurchgängen in der NFT-Gruppe an Testtag 1 und 2



→ 30 Sek

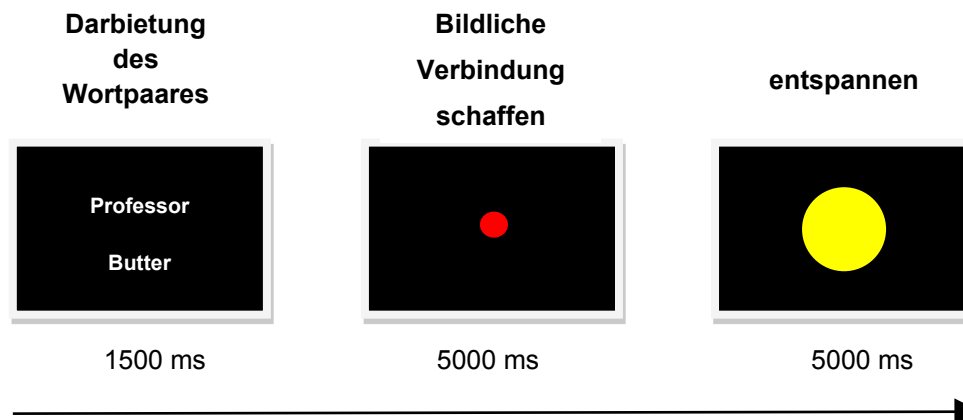
Das Feedbackszenario selbst sah so aus, dass die Versuchspersonen die ganze Trainingseinheit über einen künstlichen Klangteppich über Kopfhörer hörten. Die künstliche Musik nahm in Klangfarbe, Deutlichkeit und Lautstärke zu, wenn das Alpha-Band im oberen Frequenzbereich erhöht wurde. Diesem künstlichen Klangteppich wurde ein Rauschen beigemischt. Dieses Rauschen entsprach dem langsamen Alpha-Rhythmus. Je leiser dieses Rauschen war, desto geringer war das Lower Alpha. Die Maxima und Minima beim Klangteppich und beim Rauschen entsprachen den zuvor in der BL ermittelten Leistungsgrenzen. Das Feedback über die Alpha-Aktivität an P3 erfolgte am linken Ohr, jenes an P4 am rechten Ohr. Die StudienteilnehmerInnen wurden dazu angeleitet, zu versuchen, das Rauschen weitestgehend zu unterdrücken und den Klangteppich für sich möglichst voll, deutlich und laut wahrnehmbar zu machen.

### 8.2.3 Wortpaar-Assoziationstest

Um die deklarative Gedächtnisleistung zu erfassen wurde eine adaptierte Version der assoziativen Wortpaarliste von Plihal und Born (1997) verwendet. Der Wortpaar-Assoziationstest bestand aus zwei Enkodier- (ENC für Encoding) und zwei Abrufdurchgängen (RET für Retrieval) zu jeweils ca. 30 Minuten. Das Set von 160 Wortpaaren wurde dabei zweimal in unterschiedlicher Reihenfolge dargeboten. Die beiden Blöcke mit den 160 Wortpaaren wurden durch eine zwei-minütige Pause voneinander getrennt. Der Test begann mit der Präsentation jedes Wortpaares am Bildschirm für 1500 ms, gefolgt von einem kleinen roten Fixationskreis, der für 5000 ms dargeboten wurde. Während dieser Zeit sollten die ProbandInnen eine semantische Beziehung zwischen den

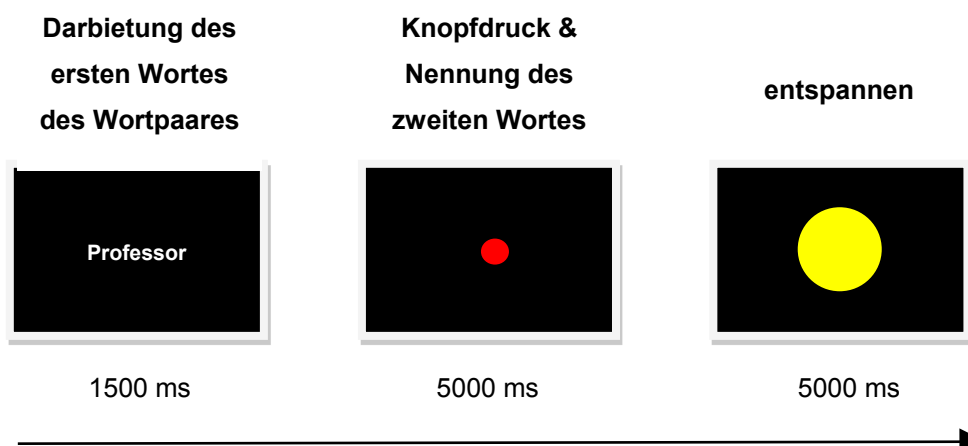
beiden Wörtern herstellen, um sich das Wortpaar merken zu können. Hierzu erhielten sie die Anweisung, sich eine bildhafte Verbindung zwischen den beiden Wörtern des Wortpaares vorzustellen. Anschließend erschien für 5000 ms ein großer gelber Kreis. Während dieser Zeit sollten sich die ProbandInnen entspannen. Der Ablauf einer Lern-Einheit ist in Abbildung 6 dargestellt.

**Abbildung 6.** Ablauf des Lernens der Wortpaare (ENC)



Im Anschluss daran folgten zwei Retrieval-Durchgänge zu je 30 Minuten (Ablauf siehe Abb.7). Dabei wurde nur das erste Wort eines Wortpaares aufgezeigt und die Testpersonen sollten jeweils das dazu gehörige Wort wiedergeben. Die wiedergegebenen Wörter wurden vom Testleiter schriftlich erfasst, wodurch die Anzahl korrekter, semantisch korrekter und falscher bzw. fehlender Antworten ermittelt werden konnte. Nach dem ersten Retrieval-Durchgang folgte nach einer Pause von ca. 60 Minuten und einem 90-minütigen Nap das zweite Retrieval in einer anderen Reihenfolge.

**Abbildung 7.** Ablauf des Abrufs der Wortpaare (RET)



### **8.2.4 Fragebögen**

Während der gesamten Untersuchung wurde eine Reihe von Fragebögen vorgegeben, die alle im Anhang abgebildet sind. Hierzu zählen der Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI von Buysse, Reynolds, Monks, Berman & Kupfer, 1988) zur Erfassung der Schlafgewohnheiten, der Fragebogen zum Chronotyp (D-MEQ von Griefahn et al., 2001), die Self-Rating Anxiety Scale (SAS von Zung, 1971) zur Messung der Ängstlichkeit und die Self-Rating Depression Scale (SDS von Zung, 1965) zur Ermittlung der Depressivität. Diese Fragebögen mussten vorab ausgefüllt werden um festzustellen, ob die ProbandInnen die Teilnahmevoraussetzungen erfüllen. Während der beiden Testtage und während des Neurofeedbacktrainings mussten die ProbandInnen anhand von visuellen Analogskalen (VAS, Erklärung siehe Kap. 8.3) ihre aktuelle Befindlichkeit angeben. Zudem hatten sie während der gesamten Untersuchungszeit (Tag 1 bis Tag 15) ein Schlafstagebuch auszufüllen.

### **8.3 Analyse der Daten**

Für die statistische Auswertung der Daten wurde die Statistiksoftware SPSS 19.0 verwendet. Dabei wurden die Daten einer weiblichen Versuchsperson aus der NFT-Gruppe für die Analyse ausgeschlossen, da diese Person am zweiten Testtag nicht schlafen konnte.

Die graphische Darstellung der Daten erfolgt unter anderem anhand von Boxplot-Diagrammen.

Zur Berechnung der deklarative Gedächtnisleistung wurde als Maß die Anzahl der erinnerten Wörter beim Abruf (RET) verwendet. Dabei ergab sich der Retrieval-Score aus der Anzahl der korrekt wiedergegebenen Wörter. Die Wörter, die lediglich semantisch korrekt erinnert wurden, wurden mit 0.5 gewichtet (Berechnung des Retrieval-Scores angelehnt an Hödlmoser, 2007). Zur Erfassung der Gedächtniskonsolidierung während des Naps wurde die Differenz der erinnerten Wörter nach und vor dem Nap ( $RET_{nachNap} - RET_{vorNap}$ ) als Variable berechnet.

Die Schlafanalyse wurde mittels Somnolyzer 24x7 der Firma Siesta Group durchgeführt. Dabei wurden die Schlafstadien gemäß den Richtlinien von Rechtschaffen und Kales (1968) an den Elektrodenpositionen C3 und C4 mit



den kontralateralen Mastoidelektroden (A1, A2) als Referenzen ausgewertet. Auf Grundlage der Schlafarchitektur wurden die jeweiligen objektiven Schlafparameter bestimmt, die in Tabelle 3 aufgelistet sind. Zusätzlich zu den objektiven wurden auch noch subjektive Beurteilungen anhand von visuellen Analogskalen herangezogen (siehe Tab. 4). Visuelle Analogskalen dienen der subjektiven Bewertung der eigenen Befindlichkeit. Sie bestehen jeweils aus einer Linie mit zwei entgegengesetzten extremen Ausprägungen einer Variablen an den beiden Enden. Die Person gibt anhand eines waagrechten Strichs die eigene aktuelle Befindlichkeit an. Als Parameter wurde in der vorliegenden Arbeit jeweils die Differenz der subjektiven Bewertung nach und vor dem Nap verwendet. Diese Werte drücken die schlafgebundene Veränderung der subjektiven Befindlichkeit aus.

Die statistische Analyse erfolgte mittels gemischter Varianzanalyse. Für die Berechnung der Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe sowie zwischen erstem und zweitem Testtag wurden t-Tests für unabhängige bzw. abhängige Stichproben herangezogen. Bei Verletzung der Voraussetzungen (Normalverteilung der Daten, Homogenität der Varianzen) kamen non-parametrische Verfahren zum Einsatz.

Um den Zusammenhang zwischen deklarativer Gedächtnisleistung, der Veränderung der Abrufleistung sowie den Schlafparametern und den subjektiven Einschätzungen zu bestimmen, wurde jeweils der Rangkorrelationskoeffizient Kendalls Tau, der ein parameterfreies Maß für Korrelationen darstellt, berechnet.

Ein zweiseitiger p-Wert kleiner oder gleich 5% wurde als statistisch signifikant angesehen. Alle p-Werte werden zweiseitig angezeigt. Um einer  $\alpha$ -Fehler-Inflation entgegenzuwirken wurde die Bonferroni-Korrektur angewendet. Bei dieser Korrektur wird das Alpha-Niveau durch die Zahl der durchgeführten Tests geteilt. Alle p-Werte, die unterhalb des korrigierten Alpha-Niveaus liegen wurden bei der Hypothesen-Prüfung als statistisch signifikant bewertet. Bei signifikanten Ergebnissen werden zusätzlich Effektstärken angegeben um die Relevanz der Ergebnisse besser beurteilen zu können. Bei Varianzanalysen wird hier das partielle Eta-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) verwendet. Dieser Parameter kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen. Dabei entspricht ein Wert von etwa 0.1 einem kleinen, von 0.24 einem mittleren und von 0.37 einem großen Effekt

(Bortz & Döring, 2006). Beim t-Test und bei den non-parametrischen Verfahren wird die Pearson-Korrelation als Effektstärke angegeben. Hier bedeutet ein  $r=.1$ , dass ein kleiner, ein  $r=.3$ , dass ein mittlerer und ein  $r=.5$ , dass ein starker Effekt vorliegt (Cohen, 1992).

**Tabelle 3.** Überblick der erfassten objektiven Schlafparameter

Schlafparameter	Erklärung
Gesamtschlafzeit (TST, Min)	Summe der Zeit, die in den einzelnen Schlafstadien verbracht wurde
Einschlaflatenz (SL, Min)	Zeit, die vom Ausschalten des Lichts bis zum Auftreten der ersten Schlafepoche (in der Regel S1 oder S2) vergeht
Schlafeffizienz (SE, %)	Gesamtschlafzeit dividiert durch die Zeit, die im Bett verbracht wurde
WASO (Min)	„Wake after sleep onset“; Zeit, die im Wachzustand nach dem ersten Einsetzen des Schlafes verbracht wurde
S1 (Min)	Zeit, die insgesamt im Schlafstadium 1 verbracht wurde
S2 (Min)	Zeit, die insgesamt im Schlafstadium 2 verbracht wurde
SWS (Min)	Zeit, die insgesamt in den Schlafstadien 3 und 4 verbracht wurde
REM (Min)	Zeit, die insgesamt im REM-Schlafstadium verbracht wurde

**Tabelle 4.** Überblick der erfassten subjektiven Beurteilungen mittels visueller Analogskalen

Befindlichkeits-Parameter	Kontinuum
Passivität	aktiv (0) – passiv (100)
Heiterkeit	traurig (0) – heiter (100)
Teilnahme	teilnahmslos (0) – teilnahmsvoll (100)
Müdigkeit	wach (0) – müde (100)
Stimmung	bedrückt (0) – unbeschwert (100)
Frische	matt (0) – frisch (100)
Entspannung	angespannt (0) – entspannt (100)
Leistungsfähigkeit	gar nicht leistungsfähig (0) – sehr leistungsfähig (100)

## 9 Ergebnisse

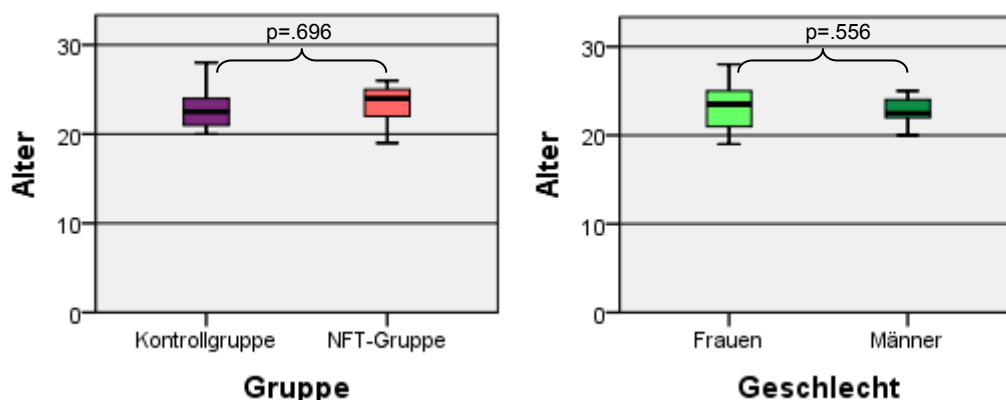
### 9.1 Stichproben

Die Beschreibung der Stichprobe erfolgt zum einen anhand der gesamten Stichprobe und zum anderen aufgeteilt nach Gruppen- und Geschlechtszugehörigkeit.

Es nahmen insgesamt 20 Personen (10 Frauen, 10 Männer) im Alter zwischen 18 und 30 Jahren an der Studie teil. Das Durchschnittsalter lag bei 23.00 Jahren (SD=2.20). Das durchschnittliche Alter in der Kontrollgruppe betrug 22.80 Jahre (SD= 2.25), während in der NFT-Gruppe die Versuchspersonen im Schnitt 23.20 Jahre (SD=2.25) alt waren.

Sowohl der Versuchsgruppe als auch der Kontrollgruppe wurden fünf Frauen und fünf Männer zugeteilt. Das Durchschnittsalter der teilnehmenden Frauen betrug 23.30 Jahre (SD= 2.75), das der Männer 22.70 Jahre (SD=1.57). In Bezug auf das Alter gab es weder zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe ( $t=-0.40$ ;  $p=.696$ ) noch zwischen Männern und Frauen ( $t=0.60$ ;  $p=.556$ ) signifikante Unterschiede. Die graphische Darstellung des Alters erfolgt in Abbildung 8.

**Abbildung 8.** Gegenüberstellung des Alters der Kontroll- und NFT-Gruppe sowie der Frauen und Männer; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



## 9.2 Ergebnisse der Eingangsuntersuchung

### 9.2.1 Selbstbeurteilungsverfahren Self-Rating Anxiety Scale (SAS) und Self-Rating Depression Scale (SDS)

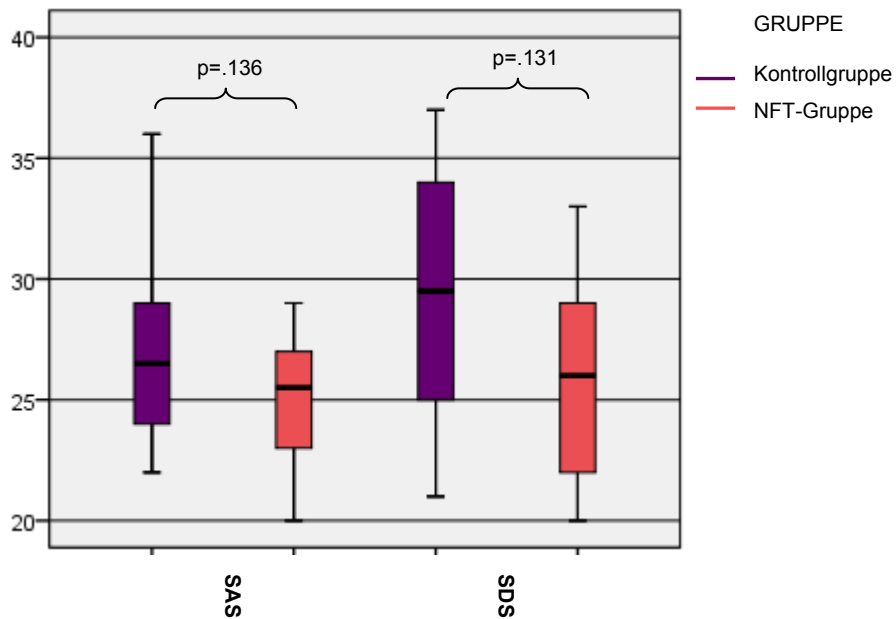
In der Gesamtstichprobe betrug der durchschnittliche Wert in der SDS 27.75 (SD=5.14) und in der SAS 26.20 (SD=3.86). Die Ängstlichkeits- und Depressivitäts-Scores in den beiden Gruppen sowie aufgeteilt nach Geschlecht sind in Tabelle 5 dargestellt. Je niedriger der Rohwert, desto geringer ist die Ausprägung der Ängstlichkeit bzw. der Depressivität. Kontrollgruppe und NFT-Gruppe unterschieden sich hinsichtlich ihrer Depressivität und Ängstlichkeit nicht signifikant und wiesen somit keine erhöhten Werte auf. Auch zwischen Männern und Frauen gab es keine signifikanten Unterschiede. Die graphische Gegenüberstellung der beiden Gruppen und der beiden Geschlechter hinsichtlich Depressivität und Ängstlichkeit erfolgt in den Abbildungen 9 und 10.

**Tabelle 5.** Mittelwert und Standardabweichung für Depressivität und Ängstlichkeit – Gruppen- und Geschlechtervergleich; t- und p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben

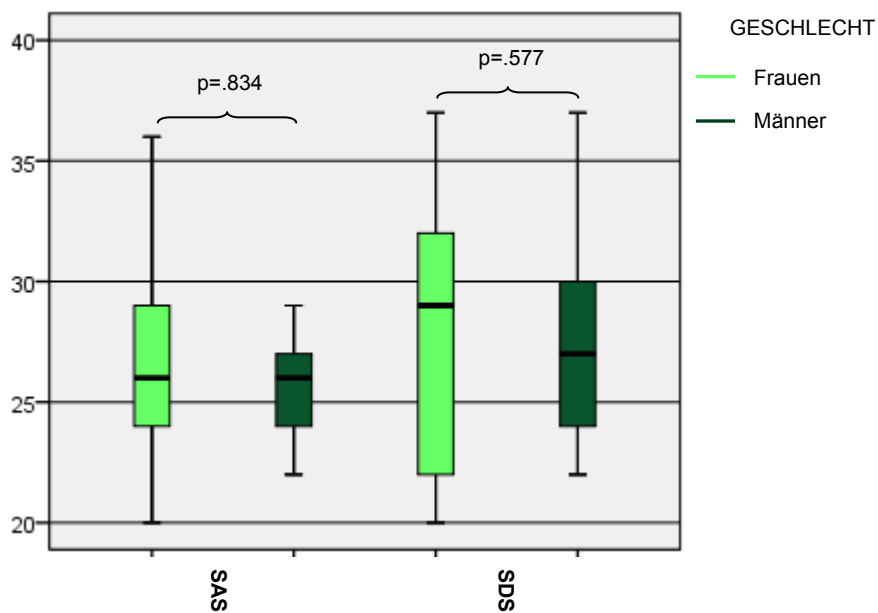
Variable	Gruppe		t	p
	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe		
Ängstlichkeit	27.50 (4.28)	24.90 (3.07)	1.56	.136
Depressivität	29.50 (5.68)	26.00 (4.08)	1.58	.131

Variable	Geschlecht		t	p
	Frauen	Männer		
Depressivität	28.00 (5.70)	27.50 (4.81)	0.21	.834
Ängstlichkeit	26.70 (5.10)	25.70 (2.21)	0.56	.577

**Abbildung 9.** SAS und SDS – Gruppenvergleich; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



**Abbildung 10.** SAS und SDS – Geschlechtervergleich; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben

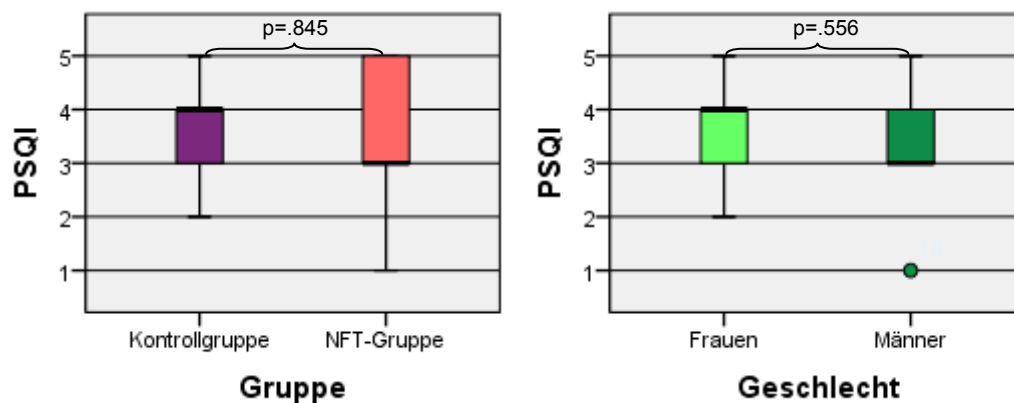


### 9.2.2 Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)

Um sicherzustellen, dass alle StudienteilnehmerInnen einen guten Schlaf besitzen, wurde die Schlafqualität anhand des PSQI erfasst. Je niedriger der PSQI-Wert, umso besser ist die Schlafqualität. In der Gesamtstichprobe betrug

der durchschnittliche Wert im PSQI 3.45 (SD=1.10). Kontrollgruppe (M=3.50; SD=0.85) und NFT-Gruppe (M=3.40; SD=1.35) unterschieden sich nicht signifikant ( $t=0.20$ ;  $p=.845$ ). Ebenso zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $t=0.60$ ;  $p=.556$ ) zwischen Männern (M=3.60; SD=1.08) und Frauen (M=3.40; SD=0.56). Die PSQI-Werte werden in Abbildung 11 graphisch dargestellt.

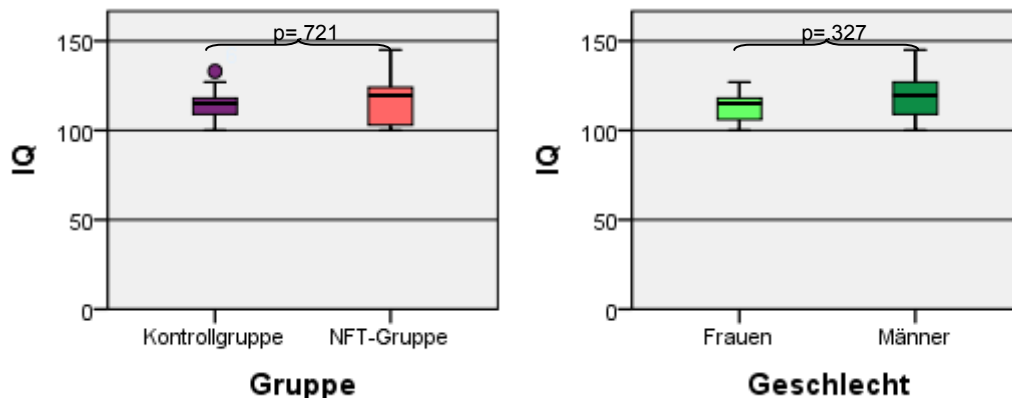
**Abbildung 11.** PSQI-Werte – Gruppen- und Geschlechtervergleich; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



### 9.2.3 Advanced Progressive Matrices (APM)

In der gesamten Stichprobe betrug der Intelligenzquotient (IQ) 115.45 (SD=12.66). Dabei gab es hinsichtlich des IQs keine signifikanten Unterschiede ( $t=-0.362$ ;  $p=.721$ ) zwischen Kontrollgruppe (M=114.40; SD=10.66) und NFT-Gruppe (M=116.50; SD=14.92). Ebenso unterschieden sich Frauen (M=112.60; SD=9.68) und Männer (M=118.30; 15.06) der Stichprobe nicht signifikant ( $t=-1.01$ ;  $p=.327$ ). Der durchschnittliche IQ der Stichprobe lag im Vergleich zur Normalbevölkerung im leicht überdurchschnittlichen Bereich (der Durchschnittsbereich reicht von 90 bis 110). Der IQ von Kontroll- und NFT-Gruppe sowie von Männern und Frauen wird in Abbildung 12 graphisch gegenübergestellt.

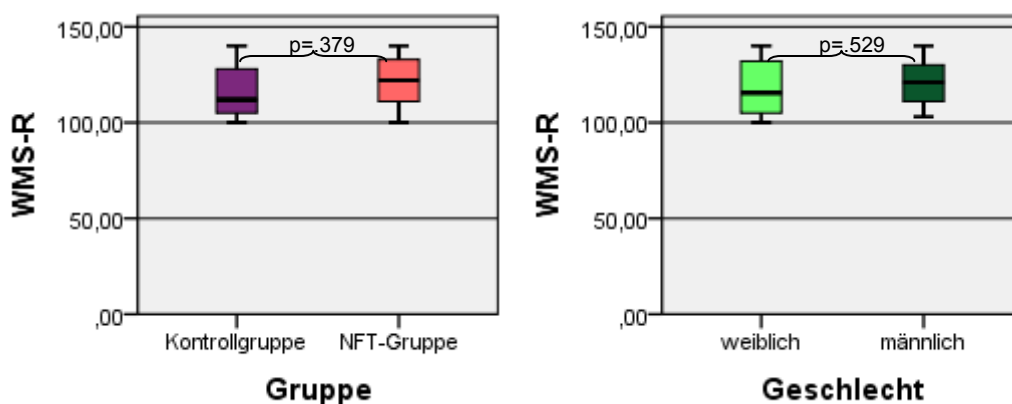
**Abbildung 12.** Gruppenvergleich und Geschlechtervergleich des Intelligenzquotienten; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



#### 9.2.4 Wechsler Memory Scale (WMS-R)

Der durchschnittliche Gesamtindex der UntersuchungsteilnehmerInnen lag bei 118.85 (SD=14.05) (Indizes sind hier Normwerte mit einem Durchschnittsbereich von 90 bis 110). Kontrollgruppe (M=116.00; SD=14.91) und NFT-Gruppe (M=121.70; SD=13.28) unterschieden sich nicht signifikant ( $t=-0.90$ ;  $p=.379$ ) hinsichtlich der Ergebnisse des WMS-R. Auch zwischen Frauen (M=116.80; SD=15.38) und Männern (M=120.90; SD=13.08) zeigte sich kein signifikanter Unterschied ( $t=-0.64$ ;  $p=.529$ ). Die Gedächtnisleistung aller Gruppen lag im leicht überdurchschnittlichen Bereich. Die graphische Gegenüberstellung des WMS-Gesamtindex erfolgt in Abbildung 13.

**Abbildung 13.** WMS-R-Gesamtindex – Gruppen- und Geschlechtervergleich; p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



Zusammenfassend zeigt sich, dass sich weder Kontroll- und NFT-Gruppe noch Frauen und Männer signifikant in ihren Ängstlichkeits- und

Depressivitätswerten, in ihrer Schlafqualität, in ihrem IQ sowie in ihrer Gedächtnisleistung unterschieden. Keine/ keiner der StudienteilnehmerInnen wies hinsichtlich der soeben angeführten Variablen zu geringe oder zu hohe Ausprägungen auf.

## 9.3 Ergebnisse der Testtage

### 9.3.1 Deklaratives Gedächtnis

Eine gemischte Varianzanalyse mit den Innersubjektfaktoren ZEIT (vor-NAP, nach-NAP) und TAG (Testtag 1, Testtag 2) und dem Zwischensubjektfaktor GRUPPE (Kontrollgruppe, NFT-Gruppe) ergibt einen signifikanten Haupteffekt des Faktors ZEIT ( $F=10.41$ ;  $p=.005$ ;  $\eta_p^2=.380$ ). Die Haupteffekte TAG und GRUPPE sind dagegen nicht signifikant. Keine der Interaktionen (ZEIT x TAG, ZEIT x GRUPPE, TAG x GRUPPE und ZEIT x TAG x GRUPPE) erreicht das Signifikanz-Niveau. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

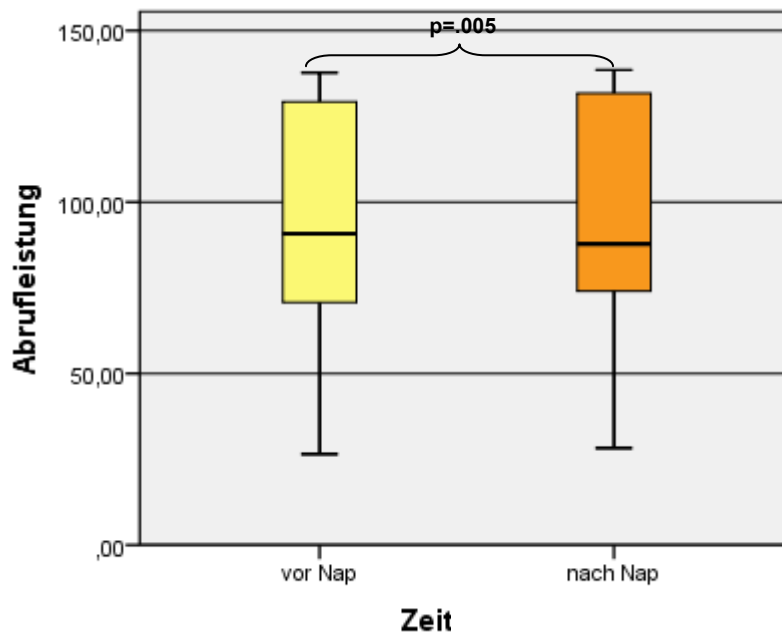
**Tabelle 6.** Ergebnisse der gemischten Varianzanalyse zur Analyse der Abrufleistung mit den Faktoren TAG und ZEIT als Inner- und dem Faktor GRUPPE als Zwischen-Subjekt-Faktoren

		df	F	p	$\eta_p^2$
<b>Tests der Innersubjekt-effekte</b>	TAG	1	0.28	.607	.016
	ZEIT	1	10.41	.005	.380
	TAG x ZEIT	1	1.16	.298	.064
	TAG x GRUPPE	1	0.25	.623	.014
	ZEIT x GRUPPE	1	0.48	.499	.027
	TAG x ZEIT x GRUPPE	1	0.01	.918	.001
<b>Test des Zwischen-subjekteffektes</b>	GRUPPE	1	0.18	.678	.010

Im paarweisen Vergleich wird deutlich, dass die Gesamtgruppe nach dem Schlaf ( $M=90.62$ ;  $SD=8.94$ ) signifikant ( $t= -3.24$ ;  $p=.005$ ) mehr Wörter erinnerte als vor dem Schlaf ( $M=88.74$ ;  $SD=8.90$ ; vgl. Abb. 14).



**Abbildung 14.** Gesamtgruppe – Vergleich der Abrufleistung vor und nach dem Nap; p-Wert resultiert aus dem t-Test für abhängige Stichproben



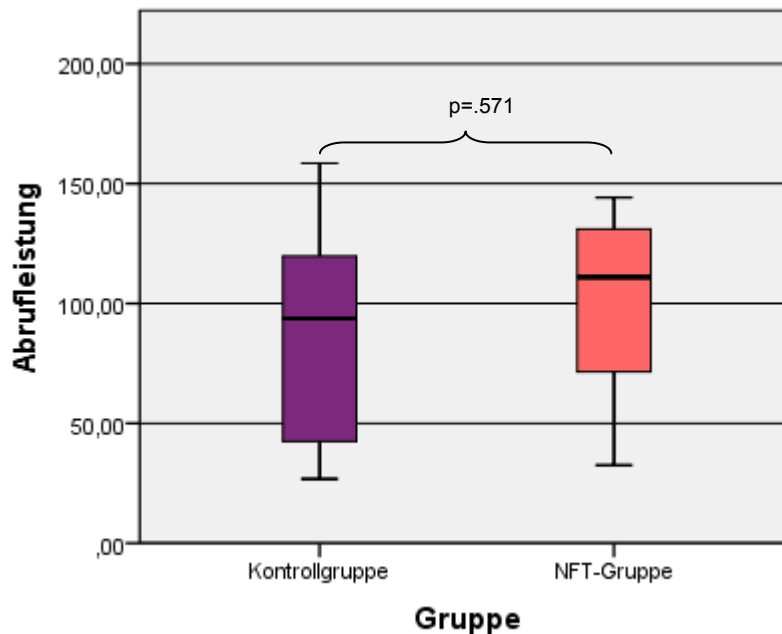
#### Gruppenvergleich:

Der Vergleich der Abrufleistung von NFT-Gruppe und Kontrollgruppe ist in Tabelle 7 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass es an keinem der beiden Testtage sowie über beide Testtage gemittelt zu einem signifikanten Unterschied in der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe kam. Die graphische Gegenüberstellung der Abrufleistung der beiden Gruppen am zweiten Testtag erfolgt in Abbildung 15.

**Tabelle 7.** Mittelwerte und Standardabweichungen der Abrufleistungen – Gruppenvergleich; t- und p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben

		Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	t	p
Testtag 1	RET 1	84.75 (40.36)	88.33 (43.06)	-0.19	.854
	RET 2	86.90 (41.44)	91.17(42.63)	-0.22	.828
	RET 1&2	85.83 (40.86)	89.76 (42.79)	-0.20	.840
Testtag 2	RET 3	85.60 (43.95)	96.28 (40.29)	-0.55	.590
	RET 4	86.40 (44.01)	98.00 (38.99)	-0.61	.553
	RET 3&4	86.00 (43.96)	97.14 (39.62)	-0.58	.571
Testtag 1&2	RET 1&3	85.18 (39.37)	92.31 (38.04)	-0.40	.694
	RET 2&4	86.65 (39.92)	94.58 (37.78)	-0.44	.663
	Gesamt	85.91 (39.63)	93.44 (37.89)	-0.42	.678

**Abbildung 15.** Testtag 2 – Vergleich der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe; p-Wert resultiert aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



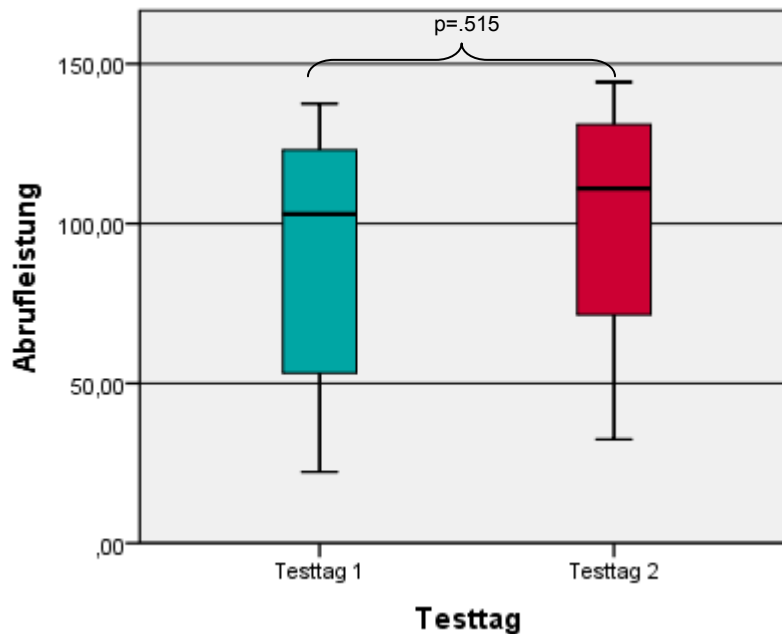
#### Vergleich der Testtage:

Der Vergleich der Abrufleistung zwischen erstem und zweitem Testtag führt weder in der Kontrollgruppe noch in der NFT-Gruppe noch in der Gesamtgruppe zu einem signifikanten Ergebnis (siehe Tab. 8). Die Abrufleistung der NFT-Gruppe an den beiden Testtagen wird in Abbildung 16 gegenübergestellt.

**Tabelle 8.** Mittelwert und Standardabweichung der Abrufleistung – Tagesvergleich; t- und p-Werte resultieren aus dem t-Test für abhängige Stichproben

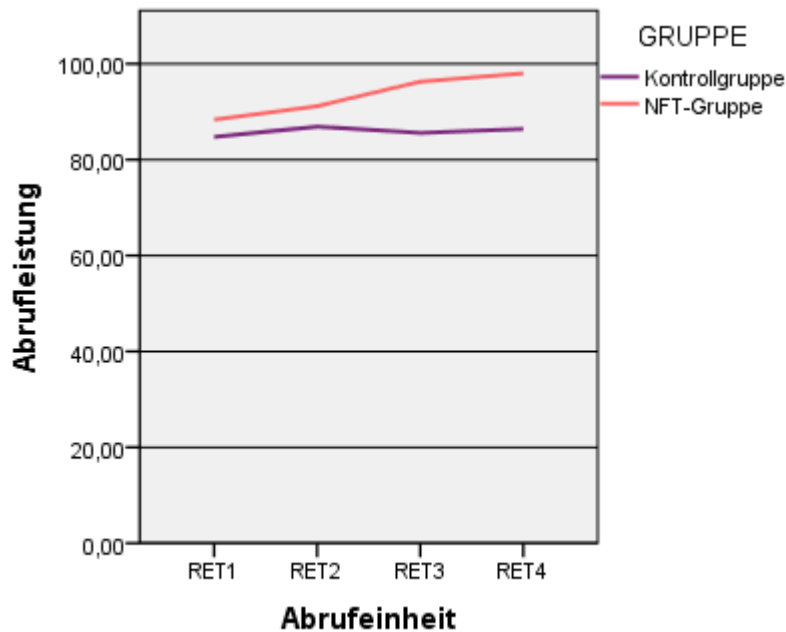
		Testtag 1	Testtag 2	t	p
<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Vor Nap</b>	84.75 (40.36)	85.60 (43.95)	-0.09	.931
	<b>Nach Nap</b>	86.90 (41.44)	86.40 (44.01)	0.05	.960
	<b>Gesamt</b>	85.83 (40.86)	89.75 (42.79)	-0.02	.986
<b>NFT-Gruppe</b>	<b>Vor Nap</b>	88.33 (43.06)	96.28 (40.29)	-0.69	.505
	<b>Nach Nap</b>	91.17 (42.63)	98.00 (38.99)	-0.66	.528
	<b>Gesamt</b>	89.75 (42.79)	97.14 (39.62)	-0.68	.515
<b>Gesamtgruppe</b>	<b>Vor Nap</b>	86.45 (40.52)	90.66 (41.44)	-0.58	.567
	<b>Nach Nap</b>	88.92 (40.88)	91.90 (40.98)	-0.43	.673
	<b>Gesamt</b>	87.68 (40.65)	91.28 (41.19)	-0.51	.617

**Abbildung 16.** NFT-Gruppe – Vergleich der Abrufleistung zwischen erstem und zweitem Testtag; p-Wert resultiert aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



Das Verlaufsdigramm (Abb. 17) zeigt, dass die Abrufleistung in der NFT-Gruppe vom ersten Testtag (RET1 und RET2) zum zweiten Testtag (RET3 und RET4) zugenommen hat, wohingegen sie in der Kontrollgruppe nahezu gleich geblieben ist. Der Unterschied in der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe war am zweiten Testtag größer als am ersten Testtag. All diese Beobachtungen erreichen jedoch aufgrund der relativ großen Varianz innerhalb der Gruppen nicht das Signifikanz-Niveau. Es zeigte sich in beiden Gruppen eine höhere Abrufleistung nach dem Nap (RET2 und RET4) als davor (RET1 und RET3).

**Abbildung 17.** Verlauf der Abrufleistung in Kontroll- und NFT-Gruppe; dargestellt sind die Mittelwerte der erinnerten Wörter zu den einzelnen Abrufeinheiten



### 9.3.2 Gedächtnisleistung und Schlaf

Zur Erfassung des Einflusses des UA/LA-NFTs auf die schlafgebundene Veränderung der Abrufleistung ( $RET_{nachNap} - RET_{vorNap}$ ) wurde eine gemischte Varianzanalyse mit dem Innersubjektfaktor TAG (Testtag1, Testtag2) und dem Zwischensubjektfaktor GRUPPE (Kontrollgruppe, NFT-Gruppe) berechnet. Hierbei waren weder die beiden Haupteffekte TAG und GRUPPE, noch der Interaktionseffekt TAG x GRUPPE signifikant (vgl. Tab. 9).

**Tabelle 9.** Ergebnisse der gemischten Varianzanalyse zur Analyse der schlafbedingten Veränderung der Abrufleistung mit dem Innersubjektfaktor TAG und dem Zwischensubjektfaktor GRUPPE

		df	F	p	$\eta_p^2$
<b>Tests der Innersubjekt-effekte</b>	TAG	1	1.16	.298	.064
	TAG x GRUPPE	1	0.01	.918	.001
<b>Test des Zwischen-subjekteffektes</b>	GRUPPE	1	0.48	.499	.027

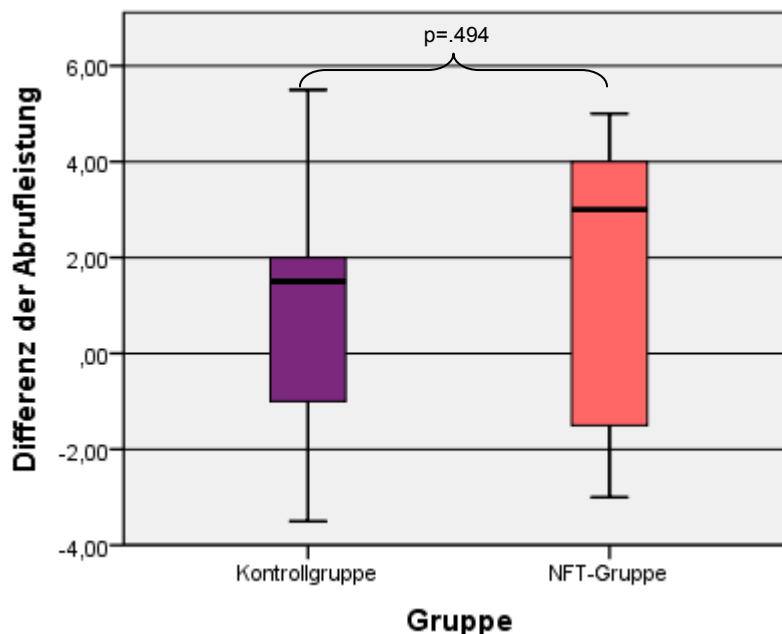
### Gruppenvergleich:

Der Vergleich der schlafbedingten Veränderung der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe (vgl. Tab. 10) ergab an keinem Testtag und auch nicht über beide Testtage gemittelt einen signifikanten Unterschied. In Abbildung 18 wird die Differenz der Abrufleistung am zweiten Testtag in Kontroll- und NFT-Gruppe dargestellt.

**Tabelle 10.** Mittelwert und Standardabweichung der Veränderung der Abrufleistung – Gruppenvergleich; t- und p-Werte resultieren aus dem t-Test für unabhängige Stichproben

	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	t	p
<b>Testtag 1</b>	2.15 (3.79)	2.83 (4.47)	-0.36	.723
<b>Testtag 2</b>	0.80 (2.69)	1.72 (3.06)	-0.67	.494
<b>Testtag 1&amp;2</b>	1.48 (2.23)	2.28 (2.84)	-0.69	.499

**Abbildung 18.** Zweiter Testtag – Vergleich der Differenz der Abrufleistung zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe; p-Wert resultiert aus dem t-Test für unabhängige Stichproben



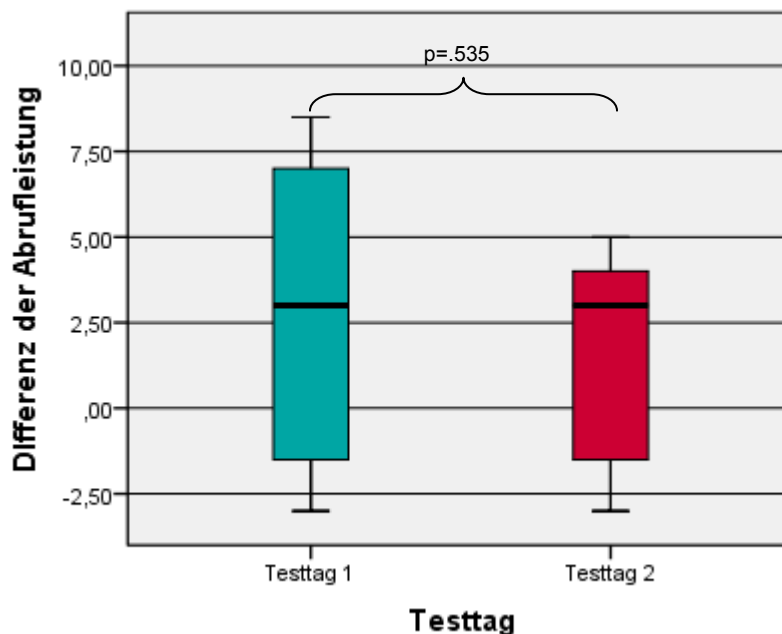
### Vergleich der Testtage:

Es fand sich weder in der Gesamtgruppe noch in den beiden Untergruppen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der schlafgebundenen Abrufleistungsveränderung zwischen den beiden Testtagen (vgl. Tab. 11). In Abbildung 19 erfolgt die graphische Gegenüberstellung der Veränderung der Abrufleistung an beiden Testtagen in der NFT-Gruppe.

**Tabelle 11.** Mittelwert und Standardabweichung der schlafassoziierten Veränderung der Abrufleistung – Tagesvergleich; t- und p-Werte resultieren aus dem t-Test für abhängige Stichproben

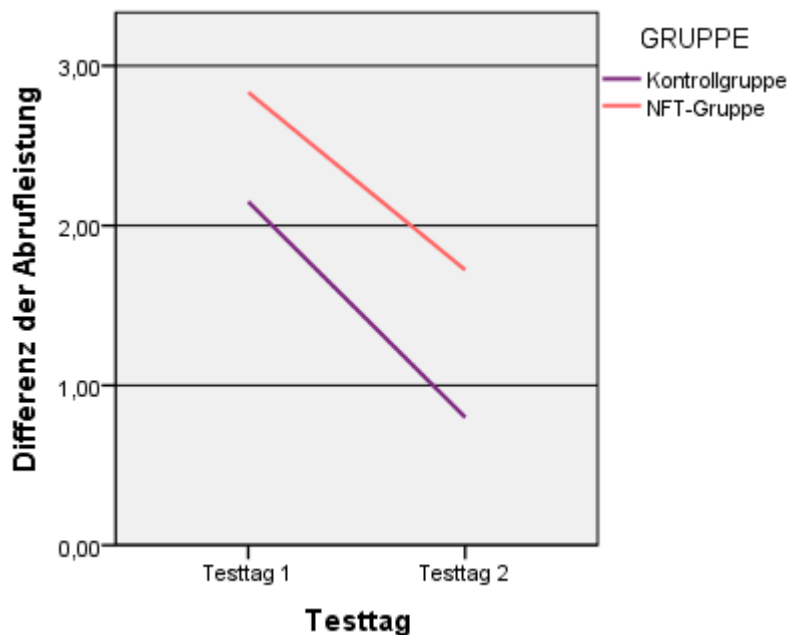
	Testtag 1	Testtag 2	t	p
<b>Kontrollgruppe</b>	2.15 (3.79)	0.80 (2.69)	0.88	.400
<b>NFT-Gruppe</b>	2.83 (4.47)	1.72 (3.06)	0.65	.535
<b>Gesamtgruppe</b>	2.47 (4.02)	1.24 (2.83)	1.11	.281

**Abbildung 19.** NFT-Gruppe – Vergleich der Differenz der Abrufleistung am ersten und zweiten Testtag; p-Wert resultiert aus dem t-Test für abhängige Stichproben



Das Verlaufsdiagramm (Abb. 20) veranschaulicht, dass die Differenz der Abrufleistung an beiden Testtagen positiv war, was bedeutet, dass die Testleistung von vor dem Nap zu nach dem Nap im Schnitt zugenommen hat. Dennoch war die Veränderung der Anzahl der erinnerten Wörter am zweiten Testtag in Kontroll- und NFT-Gruppe etwas niedriger als am ersten Testtag, was bedeutet, dass die Verbesserung der Abrufleistung über den Mittagsschlaf am zweiten Testtag marginal geringer ausfiel als am ersten Testtag. Diese Beobachtung ist teststatistisch nicht signifikant.

**Abbildung 20.** Schlafbedingte Veränderung der Abrufleistung; dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der erinnerten Wörter ( $RET_{nachNap} - RET_{vorNap}$ ) an den beiden Testtagen in Kontrollgruppe und NFT-Gruppe



### 9.3.3 Objektive Schlafparameter

Um den Einfluss des akustischen Neurofeedbacktrainings auf die objektiven Schlafparameter zu berechnen, wurden für die Analyse aufgrund fehlender Voraussetzungen zur Verwendung parametrischer Tests non-parametrische Verfahren angewendet. Der Vergleich der Gruppen erfolgte anhand des Mann-Whitney-U Tests für unabhängige Stichproben. Um die Schlafparameter an den beiden Testtagen zu vergleichen, wurde der Wilcoxon- Vorzeichenrangtest verwendet.

#### Vergleich Kontrollgruppe und NFT-Gruppe:

Der Vergleich von Kontrollgruppe und NFT-Gruppe ergab an keinem der beiden Testtage und auch nicht über beide Testtage gemittelt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der objektiven Schlafparameter (vgl. Tab. 12). Das heißt die beiden Gruppen unterschieden sich am zweiten Testtag in keinem der acht erfassten Schlafparameter signifikant. In Abbildung 21 werden die objektiven Schlafparameter der beiden Gruppen an Testtag 2 gegenübergestellt.

**Tabelle 12.** Median und Perzentile (25; 75) der objektiven Schlafparameter - Gruppenvergleich; z- und p-Werte ergeben sich aus dem Mann-Whitney-U Test

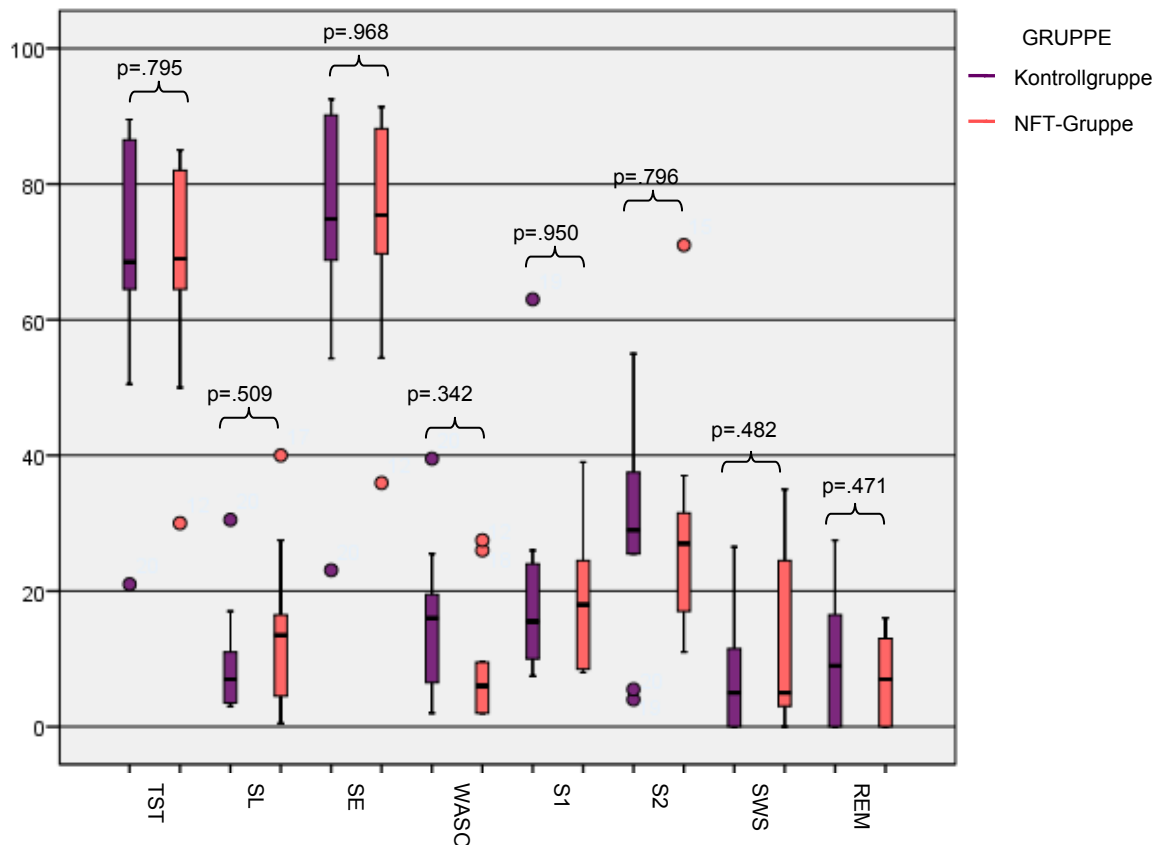
	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
<b>Nap 1</b>	<b>TST (Min)</b>	65.75 (17.87; 83.25)	68.50 (53.00; 78.75)	0.490 .661
	<b>SL (Min)</b>	7.50 (4.50; 25.12)	10.00 (7.00; 13.25)	0.286 .795
	<b>SE (%)</b>	69.35 (19.56; 89.82)	75.27 (58.03; 84.28)	0.408 .720
	<b>WASO (Min)</b>	19.50 (6.25; 44.25)	10.00 (4.75; 29.25)	1.021 .326
	<b>S1 (Min)</b>	13.50 (10.87; 22.00)	11.50 (10.25; 16.25)	0.656 .535
	<b>S2 (Min)</b>	33.00 (8.62; 42.12)	31.00 (19.75; 36.50)	0.164 .889
	<b>SWS (Min)</b>	2.25 (0.00; 12.50)	8.00 (0.00; 25.00)	0.922 .378
	<b>REM (Min)</b>	2.25 (0.00; 17.62)	10.50 (0.00; 18.50)	0.255 .824

	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
<b>Nap 2</b>	<b>TST (Min)</b>	70.25 (61.00; 86.62)	69.00 (57.25; 83.25)	0.286 .795
	<b>SL (Min)</b>	6.25 (3.37; 12.50)	13.50 (4.00; 22.00)	0.695 .509
	<b>SE (%)</b>	76.35 (65.16; 90.69)	75.41 (62.04; 89.54)	0.082 .968
	<b>WASO (Min)</b>	14.25 (4.00; 21.00)	6.00 (2.00; 17.75)	0.985 .342
	<b>S1 (Min)</b>	14.75 (9.87; 24.50)	18.00 (8.50; 25.50)	0.082 .950
	<b>S2 (Min)</b>	29.50 (20.50; 42.75)	27.00 (16.75; 34.25)	0.286 .796
	<b>SWS (Min)</b>	6.75 (0.00; 18.12)	5.00 (2.00; 26.75)	0.740 .482
	<b>REM (Min)</b>	7.25 (0.00; 17.37)	7.00 (0.00; 13.25)	0.754 .471



	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
Nap 1&2	TST (Min)	67.37 (36.62; 84.25)	68.75 (58.12; 79.25)	0.163 .905
	SL (Min)	7.37 (4.81; 19.94)	10.00 (6.25; 17.12)	0.776 .459
	SE (%)	72.85 (39.74; 90.07)	75.34 (62.98; 84.79)	0.163 .905
	WASO (Min)	17.62 (5.62; 35.62)	7.75 (4.50; 22.62)	0.981 .345
	S1 (Min)	13.87 (11.25; 24.81)	16.00 (10.25; 20.12)	0.286 .797
	S2 (Min)	29.37 (19.06; 42.19)	29.50 (16.87; 34.25)	0.163 .905
	SWS (Min)	4.75 (0.75; 15.31)	4.50 (2.50; 26.00)	0.819 .434
	REM (Min)	3.75 (1.12; 20.12)	10.25 (0.00; 15.00)	0.082 .951

**Abbildung 21.** Testtag 2 – paarweiser Vergleich der objektiven Schlafparameter zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe; p-Werte ergeben sich aus dem Mann-Whitney-U Test



#### Vergleich erster und zweiter Testtag:

In der Gesamtgruppe zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Variable WASO ( $z=-3.081$ ;  $p=.001$ ;  $r=-0.500$ ), wobei am zweiten Testtag nach dem ersten Einschlafen weniger Zeit im Wachzustand verbracht wurde als am ersten Testtag. Aufgeteilt nach Gruppen fand man in der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede zwischen den beiden Naps hinsichtlich der Gesamtschlafzeit ( $z=-2.501$ ;  $p=0.008$ ;  $r=-0.559$ ), der Schlafeffizienz ( $z=-2.395$ ;  $p=0.014$ ;  $r=-0.472$ ) und der Zeit im Wachzustand nach erstem Einsetzen des Schlafes ( $z=-2.501$ ;  $p=0.010$ ;  $r=0.559$ ). Dabei schliefen die Personen der Kontrollgruppe am zweiten Testtag ( $Mdn=70.25$ ) signifikant länger als am ersten Testtag ( $Mdn=65.75$ ). Ebenso war die Schlafeffizienz am zweiten Testtag ( $Mdn=76.35$ ) signifikant höher als am ersten Testtag ( $Mdn=69.35$ ). Die Zeit, die nach dem ersten Einschlafen im Wachzustand verbracht wurde, verringerte sich vom ersten ( $Mdn=19.50$  Min) auf den zweiten Nap ( $Mdn=14.25$  Min). In der NFT-Gruppe fand man keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der objektiven Schlafparameter zwischen dem ersten und zweiten Nap. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt. Die graphische Gegenüberstellung der objektiven Schlafparameter in der NFT-Gruppe an beiden Testtagen erfolgt in Abbildung 22.

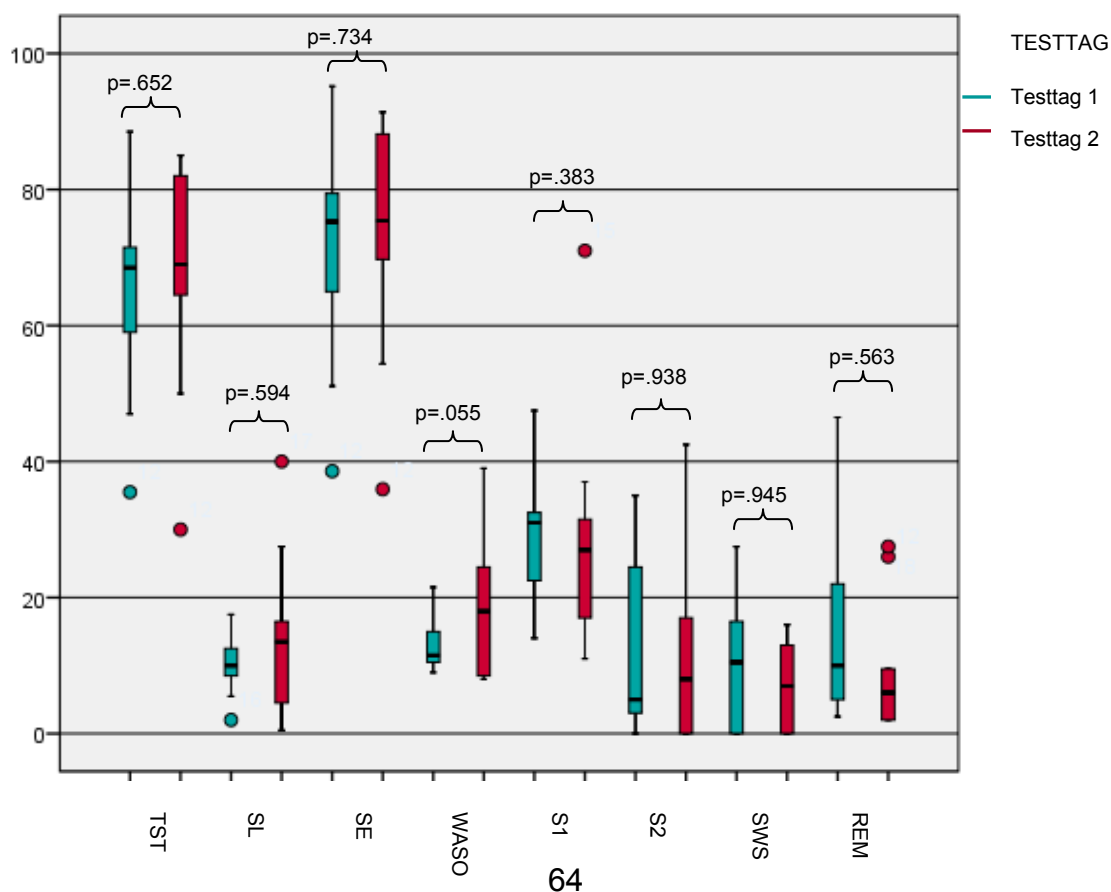
**Tabelle 13.** Median und Perzentile (25; 75) der objektiven Schlafparameter – Tagesvergleich;  
z- und p-Werte ergeben sich aus dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest

Kontrollgruppe	Nap 1	Nap 2	z	p
<b>TST (Min)</b>	65.75 (17.87; 83.25)	70.25 (61.00; 86.62)	-2.501	.008
<b>SL (Min)</b>	7.50 (4.50; 25.12)	6.25 (3.37; 12.50)	-1.407	.195
<b>SE (%)</b>	69.35 (19.56; 89.82)	76.35 (65.16; 90.69)	-2.935	.014
<b>WASO (Min)</b>	19.50 (6.25; 44.25)	14.25 (4.00; 21.00)	-2.501	.010
<b>S1 (Min)</b>	13.50 (10.87; 22.00)	14.75 (9.87; 24.50)	-0.153	.900
<b>S2 (Min)</b>	33.00 (8.62; 42.12)	29.50 (20.50; 42.75)	-0.051	.984
<b>SWS (Min)</b>	2.25 (0.00; 12.50)	6.75 (0.00; 18.12)	-1.690	.109
<b>REM (Min)</b>	2.25 (0.00; 17.62)	7.25 (0.00; 17.37)	-1.192	.266

NFT-Gruppe	Nap 1	Nap 2	z	p
<b>TST (Min)</b>	68.50 (53.00; 78.75)	69.00 (57.25; 83.25)	-0.533	.652
<b>SL (Min)</b>	10.00 (7.00; 13.25)	13.50 (4.00; 22.00)	-0.593	.594
<b>SE (%)</b>	75.27 (58.03; 84.28)	75.41 (62.04; 89.54)	-0.415	.734
<b>WASO (Min)</b>	10.00 (4.75; 29.25)	6.00 (2.00; 17.75)	-1.955	.055
<b>S1 (Min)</b>	11.50 (10.25; 16.25)	18.00 (8.50; 25.50)	-0.980	.383
<b>S2 (Min)</b>	31.00 (19.75; 36.50)	27.00 (16.75; 34.25)	-0.169	.938
<b>SWS (Min)</b>	8.00 (0.00; 25.00)	5.00 (2.00; 26.75)	-0.141	.945
<b>REM (Min)</b>	10.50 (0.00; 18.50)	7.00 (0.00; 13.25)	-0.734	.563

Gesamtgruppe	Nap 1	Nap 2	z	p
<b>TST (Min)</b>	66.00 (47.00; 83.00)	69.00 (64.50; 84.50)	-1.832	.068
<b>SL (Min)</b>	9.00 (5.50; 14.00)	7.00 (3.50; 16.50)	-0.379	.720
<b>SE (%)</b>	71.52 (51.09; 89.12)	75.41 (68.78; 90.16)	-1.932	.055
<b>WASO (Min)</b>	13.00 (5.50; 36.50)	6.50 (4.00; 19.50)	-3.081	.001
<b>S1 (Min)</b>	13.50 (10.50; 17.50)	15.50 (9.50; 24.50)	-0.871	.399
<b>S2 (Min)</b>	31.00 (17.00; 40.50)	29.00 (17.00; 37.50)	-0.024	.990
<b>SWS (Min)</b>	5.50 (0.00; 12.50)	5.00 (1.00; 21.50)	-1.023	.330
<b>REM (Min)</b>	4.00 (0.00; 17.00)	7.00 (0.00; 14.00)	-0.251	.820

**Abbildung 22.** NFT-Gruppe – paarweiser Vergleich der objektiven Schlafparameter zwischen Nap 1 und Nap 2; p-Werte ergeben sich aus dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest



### 9.3.4 Schlafbedingte Veränderung der subjektiven Befindlichkeit

#### Vergleich Kontrollgruppe und NFT-Gruppe:

Zwischen Kontroll- und NFT- Gruppe gab es weder beim ersten noch beim zweiten Nap noch über beide Naps gemittelt einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit (siehe Tab. 14). Abbildung 23 zeigt die graphische Gegenüberstellung der beiden Gruppen an Testtag 2.

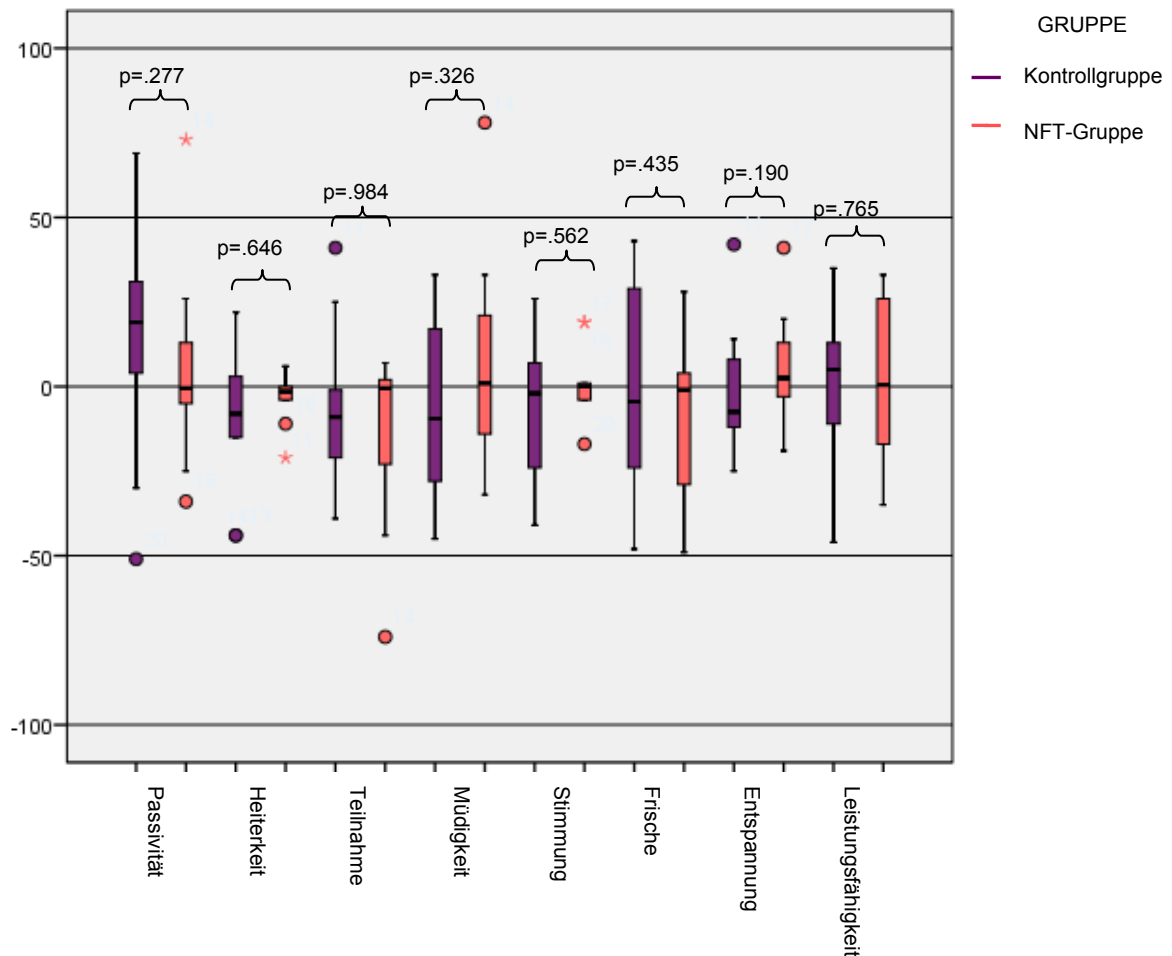
**Tabelle 14.** Mediane und Perzentile (25; 75) der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Befindlichkeit – Gruppenvergleich; z- und p-Werte ergeben sich aus dem Mann-Whitney-U-Test

Schlafgebundene Veränderung der		Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
Nap 1	Passivität	-5.50 (-35.25; 18.00)	6.00 (-9.00; 11.00)	-0.858	.412
	Heiterkeit	23.00 (-10.00; 28.25)	-2.00 (-7.50; 1.50)	-1.226	.234
	Teilnahme	7.00 (-14.50; 24.00)	-5.00 (-8.50; 7.50)	-0.776	.460
	Müdigkeit	-8.00 (-50.00; 11.25)	3.00 (-20.00; 18.50)	-0.817	.435
	Stimmung	7.00 (-5.00; 29.50)	-3.00 (-18.50; 0.00)	-1.717	.090
	Frische	12.50 (-9.75; 41.50)	7.00 (-14.00; 26.50)	-0.653	.534
	Entspannung	8.50 (-12.00; 24.50)	-3.00 (-10.50; 2.00)	-0.982	.345
	Leistungsfähigkeit	1.50 (-6.00; 26.75)	6.00 (-15.50; 22.50)	-0.123	.920

	Schlafgebundene Veränderung der	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
<b>Nap 2</b>	<b>Passivität</b>	19.00 (-4.50; 33.75)	-1.00 (-15.00; 19.50)	-1.145	.277
	<b>Heiterkeit</b>	-8.00 (-22.25; 3.75)	-1.00 (-16.50; 2.50)	-0.491	.646
	<b>Teilnahme</b>	-9.00 (-25.25; 5.50)	-1.00 (-33.50; 2.00)	-0.041	.984
	<b>Müdigkeit</b>	-9.50 (-31.75; 18.50)	2.00 (-20.50; 27.00)	-1.021	.326
	<b>Stimmung</b>	-2.00 (-25.75; 7.75)	0.00 (-4.00; 10.00)	-0.613	.562
	<b>Frische</b>	-4.50 (-24.50; 31.25)	-2.00 (-29.50; 10.50)	-0.817	.435
	<b>Entspannung</b>	-7.50 (-13.25; 9.50)	5.00 (-4.50; 16.50)	-1.348	.190
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	5.00 (-12.50; 18.00)	1.00 (-19.00; 27.50)	-0.327	.765

	Schlafgebundene Veränderung der	Kontrollgruppe	NFT-Gruppe	z	p
<b>Nap 1&amp;2</b>	<b>Passivität</b>	-0.75 (-8.62; 24.37)	3.50 (-11.00; 17.75)	-0.163	.905
	<b>Heiterkeit</b>	8.25 (-13.87; 14.12)	-1.50 (-8.50; 1.50)	-1.144	.268
	<b>Teilnahme</b>	0.75 (-18.75; 14.37)	-3.00 (-22.00; 5.50)	-0.898	.400
	<b>Müdigkeit</b>	-8.00 (-42.12; 12.75)	5.00 (-19.00; 22.25)	-0.980	.356
	<b>Stimmung</b>	3.00 (-17.87; 18.87)	-2.00 (-9.50; 4.50)	-0.449	.676
	<b>Frische</b>	1.25 (-10.50; 36.37)	-12.00 (-18.50; 20.50)	-1.144	.268
	<b>Entspannung</b>	0.25 (-13.75; 15.75)	5.00 (-5.50; 7.75)	-0.082	.952
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	3.00 (-7.37; 25.50)	4.50 (-12.75; 25.25)	-0.245	.842

**Abbildung 23.** Testtag 2 – paarweiser Vergleich der Differenz der subjektiven Angaben zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe; p-Werte resultieren aus dem Mann-Whitney-U-Test



#### Vergleich erster und zweiter Testtag:

Der Vergleich in der Gesamtgruppe ergab einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der schlafgebundenen Veränderung der Variable Frische ( $z=-2.386$ ;  $p=.016$ ), wobei die Veränderung durch den Schlaf am ersten Testtag ( $Mdn=12.00$ ) signifikant positiver war als am zweiten Testtag ( $Mdn=-2.00$ ).

Aufgeteilt in die beiden Subgruppen zeigte sich in der Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied in der schlafgebundenen Veränderung der Bewertung der Stimmung ( $z=-2.090$ ;  $p=0.037$ ) und Heiterkeit ( $z=-2.040$ ;  $p=0.041$ ) zwischen erstem und zweitem Testtag. Dabei war die Differenz in der Variable Stimmung am ersten Testtag ( $Mdn=7.00$ ) signifikant höher als am zweiten Testtag ( $Mdn=-2.00$ ), an dem die Stimmung nach dem Schlaf im Schnitt etwas schlechter bewertet wurde als vor dem Schlaf. Die Veränderung hinsichtlich der wahrgenommenen Heiterkeit war dagegen am ersten Testtag ( $Mdn=23.00$ )

besser als am zweiten (Mdn=-8.00). In der NFT-Gruppe fand man einen signifikanten Unterschied in Bezug auf die schlafgebundene Veränderung der Variable Entspannung ( $z=-2.836$ ,  $p=.016$ ), wobei sich durch den Nap am zweiten Testtag (Mdn=5.00) die subjektive Entspannung mehr verbesserte als durch Nap am ersten Testtag (Mdn=-3.00). Dieser Unterschied erreicht jedoch nach Bonferroni-Korrektur nicht mehr das Signifikanz-Niveau (neuer kritischer Wert = .00625) und bleibt bei der Hypothesen-Prüfung somit unberücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt, wobei die schlafbedingte Veränderung der subjektiven Angaben an beiden Testtagen in der NFT-Gruppe in Abbildung 24 graphisch gegenübergestellt werden.

**Tabelle 15.** Median und Perzentile (25; 75) der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Angaben – Tagesvergleich; z und p-Werte ergeben sich aus dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest

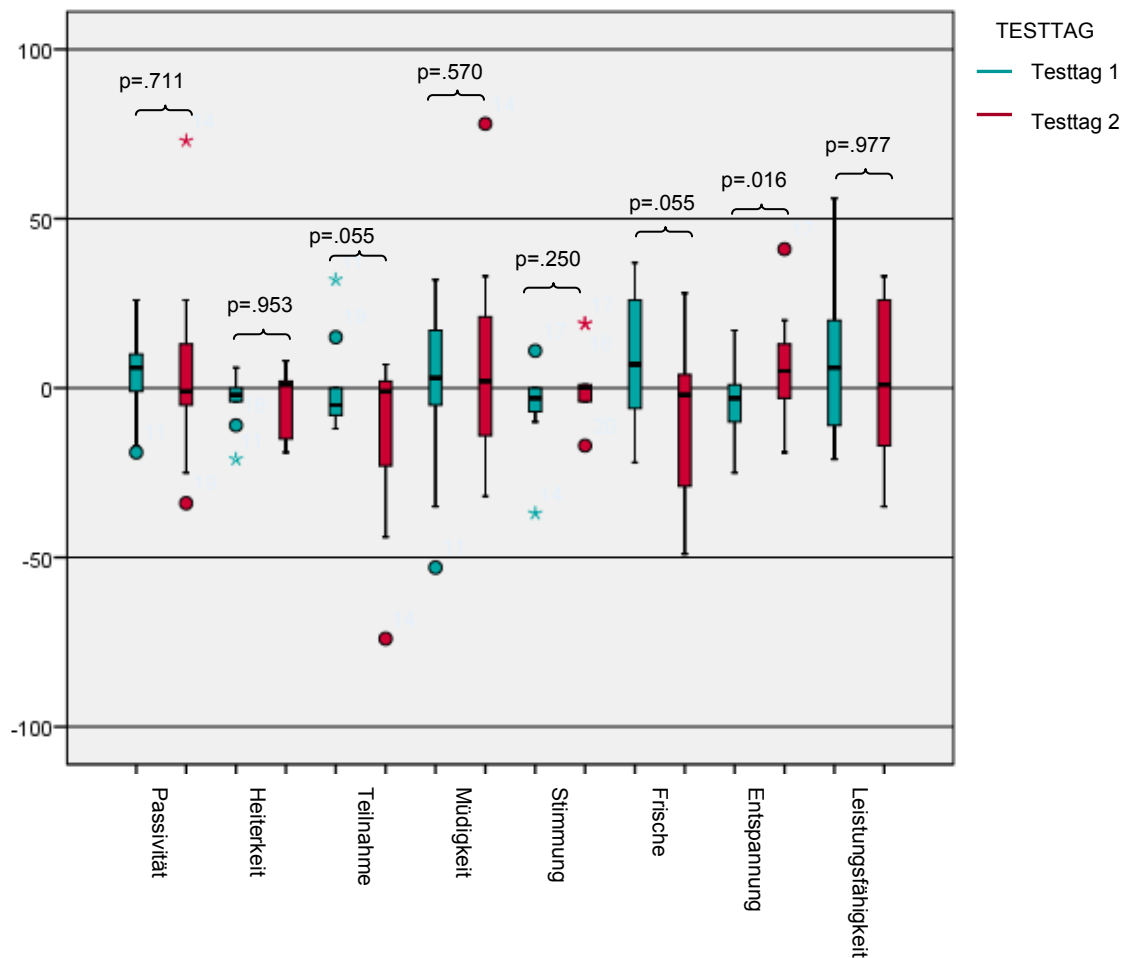
Schlafgebundene Veränderung der		Nap 1	Nap 2	z	p
Kontroll- gruppe	Passivität	-5.50 (-35.25; 18.00)	19.00 (-4.50; 33.75)	-1.581	.127
	Heiterkeit	23.00 (-10.00; 28.25)	-8.00 (-22.25; 3.75)	-2.040	.041
	Teilnahme	7.00 (-14.50; 24.00)	-9.00 (-25.25; 5.50)	0.432	.432
	Müdigkeit	-8.00 (-50.00; 11.25)	-9.50 (-31.75; 18.50)	-0.255	.846
	Stimmung	7.00 (-5.00; 29.50)	-2.00 (-25.75; 7.75)	-2.090	.037
	Frische	12.50 (-9.75; 41.50)	-4.50 (-24.50; 31.25)	-1.580	.131
	Entspannung	8.50 (-12.00; 24.50)	-7.50 (-13.25; 9.50)	-1.173	.264
	Leistungsfähigkeit	1.50 (-6.00; 26.75)	5.00 (-12.50; 18.00)	-0.612	.572



	Schlafgebundene Veränderung der	Nap 1	Nap 2	z	p
<b>NFT- Gruppe</b>	<b>Passivität</b>	6.00 (-9.00; 11.00)	-1.00 (-15.00; 19.50)	-0.421	.711
	<b>Heiterkeit</b>	-2.00 (-7.50; 1.50)	1.00 (-16.50; 2.50)	-0.059	.953
	<b>Teilnahme</b>	-5.00 (-8.50; 7.50)	-1.00 (-33.50; 2.00)	-1.960	.055
	<b>Müdigkeit</b>	3.00 (-20.00; 18.50)	2.00 (-20.50; 27.00)	-0.652	.570
	<b>Stimmung</b>	-3.00 (-18.50; 0.00)	0.00 (-4.00; 10.00)	-1.260	.250
	<b>Frische</b>	7.00 (-14.00; 26.50)	-2.00 (-29.50; 10.50)	-1.962	.055
	<b>Entspannung</b>	-3.00 (-10.50; 2.00)	5.00 (-4.50; 16.50)	-2.386	.016
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	6.00 (-15.50; 22.50)	1.00 (-19.00; 27.50)	-0.059	.977

	Schlafgebundene Veränderung der	Nap 1	Nap 2	z	p
<b>Gesamt- gruppe</b>	<b>Passivität</b>	0.00 (-19.00; 12.00)	13.00 (-5.00; 26.00)	-1.046	.309
	<b>Heiterkeit</b>	-1.00 (-10.00; 23.00)	-5.00 (-15.00; 3.00)	-1.692	.093
	<b>Teilnahme</b>	0.00 (-9.00; 18.00)	-8.00 (-23.00; 2.00)	-1.917	.055
	<b>Müdigkeit</b>	0.00 (-35.00; 17.00)	-2.00 (-27.00; 21.00)	-0.805	.435
	<b>Stimmung</b>	0.00 (-7.00; 11.00)	0.00 (-17.00; 7.00)	-1.067	.299
	<b>Frische</b>	12.00 (-8.00; 29.00)	-2.00 (-26.00; 17.00)	-2.456	.012
	<b>Entspannung</b>	1.00 (-11.00; 17.00)	-3.00 (-10.00; 13.00)	-0.196	.857
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	4.00 (-6.00; 20.00)	3.00 (-17.00; 26.00)	-0.483	.643

**Abbildung 24.** NFT-Gruppe – paarweiser Vergleich der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Beurteilungen an Testtag 1 und 2; p-Werte ergeben sich aus dem Wilcoxon-Vorzeichenrangtest



### 9.3.4 Zusammenhänge zwischen den Variablen

Um herauszufinden, ob Zusammenhänge zwischen Neurofeedbacktraining, Schlafqualität und Abrufleistung vorliegen, wurden Korrelationsanalysen berechnet, wobei lediglich die Korrelationen in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag erhoben wurden.

#### Deklarative Gedächtnisleistung und objektive Schlafparameter:

Die Korrelationsanalyse der deklarativen Gedächtnisleistung (Abrufleistung) mit den objektiven Schlafparametern führte in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag zu keinem signifikanten Zusammenhang. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

**Tabelle 16.** NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Abrufleistung am zweiten Testtag und den objektiven Schlafparametern des Nap 2; dargestellt sind der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau und der dazugehörige p-Wert

	<b>Abrufleistung RET<sub>Tag2</sub></b>	
<b>Gesamtschlafzeit</b>	$\tau = -0.254$	$p = .345$
<b>Einschlaflatenz</b>	$\tau = -0.111$	$p = .677$
<b>Schlafeffizienz</b>	$\tau = -.222$	$p = .404$
<b>WASO</b>	$\tau = 0.319$	$p = .242$
<b>S1</b>	$\tau = -0.366$	$p = .173$
<b>S2</b>	$\tau = -0.056$	$p = .835$
<b>SWS</b>	$\tau = -0.141$	$p = .600$
<b>REM</b>	$\tau = -0.155$	$p = .582$

Deklarative Gedächtnisleistung und schlafbedingte Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit:

Zwischen der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit und der Abrufleistung fanden sich keine signifikanten Zusammenhänge (vgl. Tab. 17).

**Tabelle 17.** NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben an Testtag 2; dargestellt sind der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau und der dazugehörige p-Wert

		<b>Abrufleistung (RET<sub>Tag2</sub>)</b>	
<b>Schlaf- assoziierte Veränderung (nachNap – vorNap) der</b>	<b>Passivität</b>	$\tau = 0.056$	$p = .835$
	<b>Heiterkeit</b>	$\tau = -0.028$	$p = .917$
	<b>Teilnahme</b>	$\tau = -0.028$	$p = .917$
	<b>Müdigkeit</b>	$\tau = -0.167$	$p = .532$
	<b>Stimmung</b>	$\tau = -0.493$	$p = .072$
	<b>Frische</b>	$\tau = 0.222$	$p = .404$
	<b>Entspannung</b>	$\tau = 0.000$	$p = .000$
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	$\tau = -0.056$	$p = .835$

Veränderung der Abrufleistung und objektive Schlafparameter:

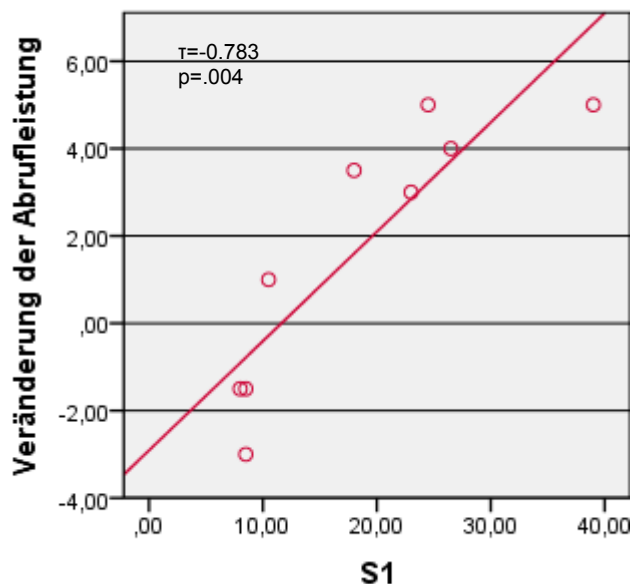
Die Korrelationsanalyse hinsichtlich Veränderung der Abrufleistung und objektiven Schlafparametern zeigte in der NFT-Gruppe einen signifikanten Zusammenhang ( $\tau = 0.783$ ;  $p = .004$ ) zwischen der Abrufleistungsveränderung und dem Anteil an Schlafstadium S1 am zweiten Testtag (siehe Tab. 18). Dieser Zusammenhang blieb auch nach der Alpha-Adjustierung mittels

Bonferroni-Korrektur (Alpha-Niveau von 0.00625) noch signifikant. Die graphische Darstellung dieses Zusammenhangs erfolgt in Abbildung 25.

**Tabelle 18.** NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Veränderung der Abrufleistung und den objektiven Schlafparametern am zweiten Testtag; dargestellt sind der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau und der dazugehörige p-Wert

	<b>Veränderung der Abrufleistung (RET<sub>nachNap</sub> -RET<sub>vorNap</sub>)</b>	
<b>TST</b>	$\tau=0.261$	$p=.340$
<b>SL</b>	$\tau=-0.400$	$p=.140$
<b>SE</b>	$\tau=0.171$	$p=.527$
<b>WASO</b>	$\tau=0.269$	$p=.333$
<b>S1</b>	$\tau=0.783$	$p=.004$
<b>S2</b>	$\tau=0.057$	$p=.833$
<b>SWS</b>	$\tau=-0.261$	$p=.340$
<b>REM</b>	$\tau=0.096$	$p=.738$

**Abbildung 25.** Linearer Zusammenhang zwischen der verbrachten Zeit in Schlafstadium S1 und der Veränderung der Abrufleistung (RET<sub>nachNap</sub> -RET<sub>vorNap</sub>)



#### Schlafassoziierte Veränderung der Abrufleistung und Veränderung der subjektiven Befindlichkeit:

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und der schlafbedingten

Veränderung der subjektiven Angaben in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag (siehe Tab.19).

**Tabelle 19.** NFT-Gruppe, Testtag 2 – Rangkorrelation zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben; dargestellt sind der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau und der dazugehörige p-Wert

		<b>Veränderung der Abrufleistung (RET<sub>nachNap</sub> -RET<sub>vorNap</sub>)</b>	
<b>Schlaf- assoziierte Veränderung (nachNap – vorNap) der</b>	<b>Passivität</b>	$\tau=-0.286$	$p=.292$
	<b>Heiterkeit</b>	$\tau=-0.028$	$p=.917$
	<b>Teilnahme</b>	$\tau=-0.377$	$p=.168$
	<b>Müdigkeit</b>	$\tau=0.261$	$p=.340$
	<b>Stimmung</b>	$\tau=0.239$	$p=.392$
	<b>Frische</b>	$\tau=0.114$	$p=.673$
	<b>Entspannung</b>	$\tau=-0.286$	$p=.292$
	<b>Leistungsfähigkeit</b>	$\tau=0.057$	$p=.833$

Objektive Schlafparameter und schlafbedingte Veränderung der subjektiven Angaben:

Die Korrelationsanalyse zwischen der Veränderung der subjektiven Angaben und den objektiven Schlafparametern zeigt keine signifikanten Zusammenhänge in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag (vgl. Tab. 20).

**Tabelle 20.** NFT-Gruppe, Testtag 2 – Zusammenhänge zwischen der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben und den objektiven Schlafparametern; dargestellt sind jeweils der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau und der dazugehörige p-Wert; bei der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben handelt es sich um die Differenz (nachNap-vorNap) der Angaben zur Passivität (P), Heiterkeit (H), Teilnahme (T), Müdigkeit (Mü), Stimmung (St), Frische (F), Entspannung (E) und Leistungsfähigkeit (L)

	<b>TST (Min)</b>	<b>SL (Min)</b>	<b>SE (%)</b>	<b>WASO</b>	<b>S1 (Min)</b>	<b>S2 (Min)</b>	<b>SWS (Min)</b>	<b>REM (Min)</b>
<b>P</b>	$\tau=-0.141$ ; $p=.600$	$\tau=0.278$ ; $p=.297$	$\tau=-0.056$ ; $p=.835$	$\tau=-0.087$ ; $p=.750$	$\tau=-0.197$ ; $p=.463$	$\tau=-0.111$ ; $p=.677$	$\tau=-0.085$ ; $p=.753$	$\tau=-0.340$ ; $p=.225$
<b>H</b>	$\tau=-0.286$ ; $p=.292$	$\tau=0.254$ ; $p=.345$	$\tau=-0.197$ ; $p=.463$	$\tau=-0.235$ ; $p=.392$	$\tau=-0.343$ ; $p=.206$	$\tau=0.085$ ; $p=.753$	$\tau=0.000$ ; $p=1.000$	$\tau=0.000$ ; $p=1.000$
<b>T</b>	$\tau=0.229$ ; $p=.399$	$\tau=-0.141$ ; $p=.600$	$\tau=0.141$ ; $p=.600$	$\tau=-0.088$ ; $p=.748$	$\tau=0.114$ ; $p=.673$	$\tau=-0.085$ ; $p=.753$	$\tau=0.057$ ; $p=.833$	$\tau=-0.063$ ; $p=.825$
<b>M ü</b>	$\tau=-0.141$ ; $p=.600$	$\tau=0.167$ ; $p=.532$	$\tau=-0.167$ ; $p=.532$	$\tau=0.029$ ; $p=.915$	$\tau=0.085$ ; $p=.753$	$\tau=0.000$ ; $p=1.000$	$\tau=0.028$ ; $p=.917$	$\tau=-0.093$ ; $p=.741$
<b>S t</b>	$\tau=-0.059$ ; $p=.831$	$\tau=0.145$ ; $p=.596$	$\tau=-0.087$ ; $p=.750$	$\tau=-0.273$ ; $p=.331$	$\tau=0.294$ ; $p=.287$	$\tau=-0.203$ ; $p=.458$	$\tau=0.000$ ; $p=1.000$	$\tau=-0.420$ ; $p=.146$
<b>F</b>	$\tau=0.197$ ; $p=.463$	$\tau=-0.333$ ; $p=.211$	$\tau=0.222$ ; $p=.404$	$\tau=0.029$ ; $p=.915$	$\tau=-0.028$ ; $p=.917$	$\tau=0.167$ ; $p=.532$	$\tau=-0.085$ ; $p=.753$	$\tau=-0.093$ ; $p=.741$
<b>E</b>	$\tau=-0.085$ ; $p=.753$	$\tau=0.000$ ; $p=1.000$	$\tau=-0.111$ ; $p=.677$	$\tau=-0.435$ ; $p=.110$	$\tau=-0.197$ ; $p=.463$	$\tau=-0.278$ ; $p=.297$	$\tau=0.366$ ; $p=.173$	$\tau=-0.279$ ; $p=.321$
<b>L</b>	$\tau=0.028$ ; $p=.917$	$\tau=-0.167$ ; $p=.532$	$\tau=0.056$ ; $p=.835$	$\tau=-0.087$ ; $p=.750$	$\tau=0.085$ ; $p=.753$	$\tau=0.000$ ; $p=.857$	$\tau=0.368$ ; $p=1.000$	$\tau=-0.217$ ; $p=.440$

## 9.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Abrufleistung nach dem Nap signifikant höher war als vor dem Nap, weswegen die Hypothese 1a) angenommen wird. Am zweiten Testtag konnten zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe sowie in der NFT-Gruppe zwischen Testtag 1 und 2 keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, weswegen die Hypothesen 1b) und 1c) verworfen werden und kein Einfluss des Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung des schnellen Alpha-Anteils auf die deklarative Gedächtnisleistung angenommen wird. Ebenso kommt es zu keiner Bestätigung der Hypothesen 2a) und 2b), da es weder zwischen den beiden Gruppen (an Testtag 2) noch zwischen den beiden Testtagen (in der NFT-Gruppe) signifikante Unterschiede

hinsichtlich der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung gab. Hinsichtlich der objektiven Schlafparameter zeigten sich am zweiten Testtag keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe, weswegen die Hypothese 3a) verworfen wird. Auch die Hypothese 3b) wird nicht angenommen, da sich die objektiven Schlafparameter in der NFT-Gruppe zwischen erstem und zweitem Testtag nicht unterschieden. Die schlafbedingte Veränderung der subjektiven Angaben zur Befindlichkeit unterschied sich am zweiten Testtag zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe nicht. Auch zwischen erstem und zweitem Testtag gab es diesbezüglich in der NFT-Gruppe keine Unterschiede. Deshalb werden die Hypothesen 3c) und 3d) verworfen. Diesen Ergebnissen zufolge hat das verwendete Alpha-Neurofeedback keinen Einfluss auf den Schlaf und auf die schlafgebundene Veränderung der Befindlichkeit. Bei den Korrelationsanalysen der verwendeten Variablen fand man lediglich zwischen der Zeit, die im Schlafstadium S1 verbracht wurde, und der schlafbedingten Veränderung der Abrufleistung einen signifikant positiven Zusammenhang, weshalb die Hypothese 4c) angenommen wird. Die Hypothesen 4a), 4b), 4d) und 4e) werden nicht bestätigt, da sich in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag keine weiteren signifikanten Zusammenhänge zwischen den erfassten Variablen zeigten.

## **10 Diskussion**

### **10.1 Diskussion der Ergebnisse**

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss eines akustischen Neurofeedbacktrainings zur Erhöhung der Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich auf die deklarative Gedächtnisfunktion und die Schlafqualität eines 90-minütigen Naps bei jungen, gesunden Erwachsenen zu untersuchen. Dabei wurde das Verhältnis UA/LA in 10 Neurofeedbackeinheiten trainiert, die deklarative Gedächtnisleistung anhand einer Wortpaar-Assoziationsaufgabe erfasst und objektive Schlafparameter sowie subjektive Bewertungen des eigenen Empfindens erhoben. Eine Kontrollgruppe (ohne NFB-Training) wurde der Versuchsgruppe gegenübergestellt.

Sowohl in der Versuchsgruppe als auch in der Kontrollgruppe konnte festgestellt werden, dass nach einem 90-minütigen Nap mehr Wörter erinnert wurden als vor dem Nap. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass während des Schlafes ein Konsolidierungsprozess der gelernten Wortpaare stattgefunden hat. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen früherer Studien, die den so genannten „Sleep Effect“, also die Überlegenheit des Schlafes gegenüber einer Wachperiode beim Behalten von gelernten Inhalten, feststellen konnten. So wurde zum einen der positive Einfluss des Nachtschlafs im Vergleich zu einer Wachperiode auf das Behalten von Nonsens-Silben (Benson & Feinberg, 1975; Jenkins & Dallenbach, 1924), sinnvollen Wörtern (Newman, 1939), Vokabeln (Gais et al., 2006) und Wortpaaren (Drosopoulos, Schulze, Fischer & Born, 2007; Ekstrand, 1967) gezeigt. Aber nicht nur Schlaf, der während der Nacht erfolgt, sondern auch Tagschlaf ist einer äquivalenten Wachphase bei der Verfestigung von Gelerntem überlegen. Dies wurde vor allem beim Lernen von Wortpaarlisten nach Naps, die bis zu 90 Minuten dauerten, beobachtet (Lahl et al., 2008; Schabus et al., 2005; Tucker et al., 2006). Insgesamt sprechen das Ergebnis der vorliegenden Arbeit sowie die Ergebnisse der soeben genannten Studien dafür, dass Schlaf einen Zustand des Gehirns widerspiegelt, der speziell die Konsolidierung des Gedächtnisses verstärkt und dem Vergessen somit entgegenwirkt.

In Bezug auf die Erhöhung der schnellen Alpha-Wellen zeigte die NFT-Gruppe nach dem Training beim Abruf keine signifikant höhere Anzahl erinnelter Wörter als die Kontrollgruppe. Es konnte generell kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der deklarativen Gedächtnisleistung zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe gefunden werden. Auch ein signifikanter Intragruppeneffekt konnte in Bezug auf die Abrufleistung nicht festgestellt werden. Das heißt, die NFT-Gruppe verbesserte sich nach dem Neurofeedbacktraining in der deklarativen Gedächtnisleistung nicht. Es konnten somit keine Auswirkungen des akustischen UA/LA-Neurofeedbacktrainings auf die deklarative Gedächtnisleistung festgestellt werden, weshalb diese Art von Neurofeedback nicht dafür geeignet scheint, das Lernen von deklarativen Inhalten zu verbessern. Die vorliegende Arbeit untermauert somit nicht die Ergebnisse von anderen Studien, wie beispielsweise von Klimesch et al. (1999) und Vogt et al. (1998), die in ihren Untersuchungen einen signifikanten Zusammenhang



zwischen einem hohen Alpha-Band im oberen Frequenzbereich und dem semantischen Gedächtnis finden konnten.

Studien, in denen eine Erhöhung des schnellen Alpha-Rhythmus herbeigeführt wurde (Hanslmayr et al., 2005; Klimesch et al., 2003; Zoefel et al., 2011), deuten darauf hin, dass ein Training der Alpha-Aktivität hin zu seinen schnellen Komponenten zu einer Verbesserung der Arbeitsgedächtnisleistung führt. Da in der vorliegenden Arbeit kein Effekt des UA/LA-Trainings auf die deklarative Gedächtnisleistung festgestellt werden konnte, könnte es sein, dass ein Neurofeedbacktraining zur Erhöhung der Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich spezifisch auf die Arbeitsgedächtnisleistung und nicht auf die deklarative Gedächtnisleistung wirkt. Es liegt die Vermutung nahe, dass nicht das Training des Alpha-Rhythmus, sondern das des benachbarten Sensomotorischen Rhythmus (12 – 15 Hz) einen positiven Effekt auf die deklarative Gedächtnisfunktion (gemessen mittels Wortpaar-Assoziationstest) ausübt, so wie es bereits von Hödlmoser et al. (2008) beobachtet wurde. Eine weitere Erklärung für das Ausbleiben eines feststellbaren Effekts des NFTs auf die deklarative Gedächtnisleistung könnte die unterschiedliche Feedbackmodalität darstellen. Während bei den Studien von Hanslmayr et al. (2005) und Zoefel et al. (2011) jeweils ein visuelles Feedback verwendet wurde, wurde bei der vorliegenden Studie ein rein akustisches Feedback angewendet. Es besteht die Möglichkeit, dass die beiden Feedbackmodalitäten eine unterschiedliche Wirksamkeit besitzen, weshalb es notwendig wäre, die Auswirkungen von akustischem und visuellem Feedback sowohl auf die Arbeitsgedächtnis- als auch auf die deklarative Gedächtnisfunktion zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

Betrachtet man in der vorliegenden Arbeit den Verlauf der Abrufleistung in den beiden Gruppen (Versuchs- und Kontrollgruppe), so zeigte sich in der NFT-Gruppe eine leichte Verbesserung der Abrufleistung nach dem Neurofeedbacktraining, während in der Kontrollgruppe die Anzahl der erinnerten Wörter am ersten und zweiten Testtag annähernd gleich blieb. Diese Beobachtung erreichte jedoch nicht das Signifikanz-Niveau. Eine Erklärung dafür könnte die große Varianz der Abrufleistung innerhalb beider Gruppen sein. So gibt es einzelne Versuchspersonen (sowohl in Kontroll- als auch NFT-Gruppe), die bei allen Abrufeinheiten nur wenige Wörter erinnerten,

wohingegen andere StudienteilnehmerInnen sehr gute Leistungen erbrachten. Der Retrieval-Score reichte beispielweise im ersten Abrufdurchgang von 20.5 bis hin zu einem Wert von 145.0 von 160 abgefragten Wortpaaren. Diese große Streuung tritt auf, obwohl es sich bei den StudienteilnehmerInnen um eine ausschließlich studentische Stichprobe handelte. Es wurde ein durchgängig hohes Gedächtnis- und Intelligenz-Niveau angenommen, das bei der Eingangsuntersuchung (gemessen mittels WMS-R und APM) auch bestätigt werden konnte (die Hauptindex- und IQ-Werte lagen bei allen Versuchspersonen über 100, bei einem definierten Durchschnittsbereich in der Normgruppe von 90 bis 110). Die Ursache für die große Streuung der Abrufleistung könnte an einer unterschiedlichen Motivation und Anstrengungsbereitschaft der StudienteilnehmerInnen liegen. Deshalb sollte man versuchen, diese Variablen in zukünftigen Untersuchungen bei allen ProbandInnen konstant hoch zu halten. Um dies zu erreichen, könnte man beispielweise den TeilnehmerInnen kommunizieren, dass die Höhe der finanziellen Aufwandsentschädigung an den Erfolg gekoppelt wird. Eine weitere Möglichkeit, die Streuung beim Wortpaar-Assoziationstest geringer zu halten, wäre die Einführung eines Cutoff-Wertes, wonach nur jene Personen für die weitere Untersuchung herangezogen werden, deren Leistung im Test oberhalb eines bestimmten Wertes liegt.

In dieser Arbeit wurde aber nicht nur der Einfluss des UA/LA-NFTs auf die Abrufleistung an sich, sondern auch auf die schlafbedingte Veränderung der Abrufleistung, die als Maß für die Gedächtniskonsolidierung diene, untersucht. Dabei unterschied sich die schlafbedingte Veränderung der Anzahl der erinnerten Wörter zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe am zweiten Testtag nicht signifikant. Auch innerhalb der NFT-Gruppe blieb die Differenz der Abrufleistung am ersten und zweiten Testtag in etwa gleich. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass das akustische Neurofeedbacktraining zur Erhöhung der schnellen Alpha-Komponenten keinen Einfluss auf die schlafgebundene Gedächtniskonsolidierung besitzt. Bisher ist es noch nicht gelungen, mittels Neurofeedbacktraining (ungeachtet des trainierten Frequenzbandes) Einfluss auf die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes zu nehmen. Auch in anderen Studien (Berner, Schabus, Wienerroither & Klimesch, 2006; Hödlmoser et al., 2008), bei denen jeweils ein Training des Sensomotorischen Rhythmus

vorgenommen wurde, wurde kein Einfluss des Neurofeedbacks auf die schlafbedingte Abrufleistungsveränderung beobachtet. Bisherige Studien zeigen, dass die Gedächtniskonsolidierung im Schlaf durch die Modulation der Art und Weise, wie Informationen aufgenommen werden (Tucker & Fishbein, 2008) und durch den Schwierigkeitsgrad der zu lernenden Informationen (Schmidt et al., 2006) beeinflusst werden kann. Außerdem kann sie durch wiederholte transkranielle Stimulation mittels langsamer Schwingungen (0.75 Hz) während des NREM-Schlafes verbessert werden (Marshall et al., 2006). Schließlich war in vorliegender Arbeit nicht nur der Einfluss des UA/LA-Neurofeedbacks auf die deklarative Gedächtnisleistung und die Gedächtniskonsolidierung von Interesse, sondern auch, inwieweit sich das akustische Neurofeedbacktraining auf einen 90-minütigen Mittagsschlaf auswirkt. Hier fand sich nach dem NFT kein signifikanter Unterschied zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe. Auch innerhalb der NFT-Gruppe unterschied sich der Mittagsschlaf vor und nach dem Training nicht signifikant. Demzufolge hatte das NFT keinen Einfluss auf die Schlafstruktur eines Naps. Interessanterweise veränderte sich die Schlafstruktur in der Kontrollgruppe vom ersten auf den zweiten Testtag. Dabei verlängerte sich die Gesamtschlafzeit, erhöhte sich die Schlaffeffizienz und nahm die Zeit im Wachzustand nach dem ersten Einsetzen des Schlafes ab. Demzufolge könnte es in der Kontrollgruppe zu einem Gewöhnungseffekt gekommen sein, weshalb es den Personen der Kontrollgruppe am zweiten Testtag, an dem sie mit der Situation und den Räumlichkeiten schon vertrauter waren, leichter gefallen ist zu schlafen bzw. sich ihre Schlafqualität verbessert hatte. Bei der NFT-Gruppe wirkte möglicherweise das Neurofeedbacktraining einer Verbesserung der Schlafqualität entgegen, sodass die Vermutung nahe liegt, dass sich das akustische UA/LA-Neurofeedbacktraining auf keinen Fall förderlich auf die objektive Schlafqualität auswirkt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Studien, in denen gezeigt wurde, dass ein hohes Alpha-Band im langsamen Frequenzbereich mit einer gesteigerten Müdigkeit zusammenhängt und dagegen ein hoher Anteil an schnellen Alpha-Komponenten mit einer erhöhten Wachheit korreliert (Angelakis et al., 2004; Cajochen et al., 1995; Klimesch, 1999). Da das hier angewendete Neurofeedbacktraining darauf ausgelegt war, das Upper Alpha zu

erhöhen und das Lower Alpha zu reduzieren, zielte das Training im Prinzip auf eine Steigerung der Vigilanz ab.

Neben den objektiven Schlafparametern wurde auch noch die Veränderung subjektiver Parameter über den Schlaf (Zustandswahrnehmung der eigenen Passivität, Heiterkeit, Teilnahme, Müdigkeit, Stimmung, Frische, Entspannung und Leistungsfähigkeit) erhoben. Dabei gab es am zweiten Testtag zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe keine Unterschiede hinsichtlich der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Befindlichkeit. Beim Vergleich zwischen erstem und zweitem Testtag zeichnete sich lediglich ein Trend ab. So zeigte sich in der NFT-Gruppe am zweiten Testtag eine tendenziell positivere Veränderung in der Variable Entspannung als am ersten Testtag. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass nach dem NFT das subjektive Entspannungsgefühl durch den Schlaf höher war. In Summe lässt sich feststellen, dass die schlafbedingte Veränderung der subjektiven Befindlichkeit durch das Neurofeedbacktraining zur Erhöhung der schnellen Alpha-Komponenten kaum beeinflusst wurde. Das heißt, die Personen der NFT-Gruppe empfanden die Veränderung ihres Zustandes nach dem Nap am zweiten Testtag, also nach dem NFB, genauso wie am ersten Testtag.

Demnach scheint weniger ein akustisches Neurofeedbacktraining des schnellen Alpha-Rhythmus, als vielmehr ein Training des Sensomotorischen Rhythmus einen positiven Einfluss auf den Schlaf zu nehmen. Der Sensomotorische Rhythmus entspricht dem Frequenzbereich der Schlafspindeln (12 – 15 Hz). Hödlmoser et al. (2008) erreichten mittels Neurofeedbacktraining des SMR eine Erhöhung der Schlafspindelanzahl. Durch dieses Training wurde zudem die Einschlaf latenz signifikant reduziert. Auch im Rahmen der Insomnie-Forschung konnten mittels SMR-Neurofeedback eine Verlängerung der Gesamtschlafzeit sowie eine Verbesserung der Schlafqualität erzielt werden (Cortoo et al., 2010; Hammer et al., 2011).

Letztlich war in vorliegender Arbeit von Interesse, ob es am zweiten Testtag in der NFT-Gruppe Zusammenhänge zwischen den untersuchten Variablen gibt. Dabei fand sich lediglich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und der Dauer des Schlafstadiums S1. Das bedeutet, je mehr Zeit die Personen der NFT-Gruppe in Stadium S1 verbrachten, desto besser war die Leistung nach dem Nap im

Vergleich zu vor dem Nap am zweiten Testtag. Zwischen den anderen Variablen zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge. Aufgrund vorhergehender Studien (Backhaus et al., 2007; Plihal & Born, 1997; Tucker et al., 2006; Tucker & Fishbein, 2009; Schabus et al., 2005) wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der deklarativen Gedächtniskonsolidierung und dem Tiefschlafanteil angenommen. Allerdings konnte dieser Zusammenhang in der vorliegenden Studie nicht repliziert werden. Dies könnte daran liegen, dass es sich hier um einen Nap am Tag handelte und deswegen manche Personen der analysierten Stichprobe das Tiefschlafstadium nicht erreichten. Deshalb bildet in dieser Untersuchung die Dauer von S1 die Unterschiede in der Schlafqualität möglicherweise besser ab als die Tiefschlafdauer. Man hätte aufgrund früherer Ergebnisse (Ficca & Salzarulo, 2004, Überblick) erwarten können, dass zudem die Gesamtschlafzeit mit der deklarativen Gedächtniskonsolidierung korreliert, was jedoch nicht bestätigt werden konnte. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen im Einklang mit der Studie von Lahl et al. (2008), die zeigen konnte, dass bereits eine äußerst kurze Schlafepisode von wenigen Minuten genügt, um die deklarative Gedächtnisleistung zu verbessern. Die Autoren konnten ebenfalls keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Gedächtniskonsolidierung und der Tiefschlafdauer sowie der Gesamtschlafzeit feststellen, woraus man schließen könnte, dass bereits das alleinige Einsetzen des Schlafes die Gedächtniskonsolidierung verbessert.

## **10.2 Conclusio und Ausblick**

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung lässt sich zusammenfassend folgern, dass das akustische Neurofeedbacktraining zur Steigerung des UA/LA-Verhältnisses keinen Einfluss auf die deklarative Gedächtnisleistung, die Schlafqualität und die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes hatte. Es konnte jedoch erneut gezeigt werden, dass der Schlaf neu erworbene deklarative Gedächtnisinhalte verfestigt und somit zur Gedächtniskonsolidierung beiträgt. Demzufolge ist es für einen gesunden Erwachsenen zur Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit förderlich –

speziell beim Lernen neuer Inhalte – tagsüber zwischenzeitlich zu schlafen, anstatt die eigenen Gehirnwellen mittels UA/LA-Neurofeedback zu trainieren. Um die deklarative Gedächtnisleistung und den Schlaf zu verbessern scheint weniger das Neurofeedback zur Erhöhung des schnellen Alpha-Rhythmus als vielmehr das Training des benachbarten Sensomotorischen Rhythmus vielversprechend zu sein, denn anders als beim NFT des UA/LA konnten beim Training zur Erhöhung des Frequenzbereiches von 12 bis 15 Hz bereits positive Effekte auf Gedächtnis- und Schlafparameter beobachtet werden (vgl. Cortoos et al., 2010; Hammer et al., 2011; Hödlmoser et al., 2008) .

Ein Ansatzpunkt für weitere Forschung wäre demnach, einen direkten Vergleich zwischen dem Neurofeedbacktraining des Alpha- und des Sensomotorischen Rhythmus anzustellen und die Auswirkungen dieser Trainings auf den Schlaf, die deklarative Gedächtnisleistung und die Gedächtniskonsolidierung zu untersuchen. Hierdurch könnte herausgefunden werden, ob die Erhöhung des Sensomotorischen Rhythmus der Erhöhung der schnellen Alpha-Komponenten wirklich überlegen ist und ob die bisherigen Ergebnisse unter anderem von Cortoos et al. (2010), Hammer et al. (2011) und Hödlmoser et al. (2008) repliziert werden können.

Um das hier angewendete Studiendesign noch zu optimieren, wäre es erstrebenswert, eine größere Stichprobenanzahl und – wie bereits zuvor erwähnt – ein durchgehend hohes Maß an Motivation und Anstrengungsbereitschaft bei allen StudienteilnehmerInnen zu gewährleisten. Eine weitere Möglichkeit wäre, anstelle einer Kontrollgruppe, die keinerlei alternatives Training absolviert, eine Placebo-Gruppe einzuführen, die anstelle eines echten Feedbacks eine zufällig generierte Rückmeldung erhält. Hierdurch wäre eine höhere Vergleichbarkeit der Kontrollgruppe mit der Versuchsgruppe gegeben, weswegen etwaige Effekte noch besser auf das Neurofeedbacktraining zurückgeführt werden könnten. Um den Schlaf, seine Struktur und die Zusammenhänge mit dem Gedächtnis noch eingehender zu untersuchen, könnte man zusätzlich zu den hier angeführten objektiven Schlafparametern die Schlafspindeln und den Einfluss des Neurofeedbacks auf diese Variable analysieren, da in bisherigen Studien nicht nur positive Effekte des Tiefschlafs, sondern auch der Schlafspindeln auf das Lernen und die

Gedächtniskonsolidierung festgestellt werden konnten (Schabus et al., 2008; Tamminem, Payne, Stickgold, Wamsley & Gaskell, 2010, Überblick). Hinsichtlich des Feedbackszenarios wäre die Kombination aus akustischem und visuellem Feedback eine Möglichkeit, das Feedback für die StudienteilnehmerInnen noch eindeutiger und eingängiger zu gestalten. Generell gibt es bisher noch kaum Untersuchungen, die sich mit den Auswirkungen der Feedbackmodalität auf das Neurofeedbacktraining und dessen Wirksamkeit befassen haben, weshalb es sinnvoll wäre, ein akustisches, ein visuelles und ein kombiniertes Feedback miteinander zu vergleichen, um die bestmögliche Trainingsweise herauszufinden.

## 11 Literatur

- Angelakis, E., Lubar, J.F., Stathopoulou, S. & Kounios, J. (2004). Peak alpha frequency: An electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clinical Neurophysiology*, 115, 887-897.
- Anokhin, A. & Vogel, F. (1996). EEG alpha rhythm frequency and intelligence in normal adults. *Intelligence*, 23, 1-14.
- Backhaus, J., Born, J., Hoeckesfeld, R., Fokuhl, S., Hohagen, F. & Junghanns, K. (2007). Midlife decline in declarative memory consolidation is correlated with a decline in slow wave sleep. *Learning Memory*, 14, 336-341.
- Bear, M.F., Connors, B.W., Paradiso, M.A. & Engl, A.K. (Hrsg.). (2008). *Neurowissenschaften - ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (3. Aufl.). Wien: Springer-Verlag.
- Benson, K. & Feinberg, I. (1975). Sleep and memory: Retention 8 and 24 hours after initial learning. *Psychophysiology*, 12(2), 192-195.
- Berner, M., Schabus, T., Wienerroither, T. & Klimesch, W. (2006). The significance of sigma neurofeedback training on sleep spindles and aspects of declarative memory. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(2), 97-114.
- Born, J., Rasch, B. & Gais, S. (2006). Sleep to remember. *Neuroscientist*, 12, 410-424.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brand, M. & Markowitsch, H.J. (2004). Lernen und Gedächtnis. Zugriff am 30.05.2012 unter <http://www.uniduesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/de/forschung/gehirn/doc/markowits.pdf>
- Buysse, D.J., Reynolds, C.H.F., Monks, T.H., Berman, S. & Kupfer, D.J. (1988). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193-213.
- Cajochen, C., Brunner, D.P., Kräuchi, K., Graw, P. & Wirz-Justice, A. (1995). Power density in theta/ alpha frequencies of the waking EEG



- progressively increases during sustained wakefulness. *Sleep*, 18, 890-894.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112, 155-159.
- Cortooos, A., De Valck, E., Arns, M., Breteler, M.H.M. & Cluydts, R. (2010). An exploratory study on the effects of tele-neurofeedback and tele-biofeedback on objective and subjective sleep in patients with primary insomnia. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35, 125-134.
- Drechsler, R. (2011). Ist Neurofeedbacktraining eine wirksame Therapiemethode zur Behandlung von ADHS? Ein Überblick über aktuelle Befunde. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 22(2), 131-146.
- Drosopoulos, S., Schulze, C., Fischer, S. & Born, J. (2007). Sleep's function in the spontaneous recovery and consolidation of memories. *Journal of Experimental Psychology*, 136(2), 169-183.
- Egner, T. & Gruzelier, J.H. (2004). EEG Biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115, 131-139.
- Ekstrand, B.R. (1967). Effect of sleep on memory. *Journal of Experimental Psychology*, 75, 64-72.
- Ellenbogen, J.M., Payne, J.D. & Stickgold, R. (2006). The role of sleep in declarative memory consolidation: Passive, permissive, active or none? *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 716-722.
- Fette, A. (2012). Polysomnographie. Zugriff am 15.07.2012 unter [http://www.praxisbismarckplatz.de/informationen\\_schlafmedizin\\_untersuchungsverfahren\\_polysomnographie.html](http://www.praxisbismarckplatz.de/informationen_schlafmedizin_untersuchungsverfahren_polysomnographie.html)
- Ficca, G. & Salzarulo, P. (2004). What in sleep is for memory. *Sleep Medicine*, 5, 225-230.
- Gais, S., Lucas, B. & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning Memory*, 13, 259-262.
- Griefahn, B., Künemund, C., Bröde, P. & Mehnert, P. (2001). Zur Validität der deutschen Übersetzung des Morningness-Eveningness-Questionnaires von Horne und Östberg. *Somnologie*, 5, 71-80.

- Haerting, C., Markowitsch, H.J., Neufeld, H., Calabrese, P., Deisinger, K. & Kessler, J. (2000). *Wechsler Gedächtnistest – revidierte Fassung*. Bern: Huber.
- Hammer, B.U., Colbert, A.P., Brown, K.A. & Ilioi, E.C. (2011). Neurofeedback for insomnia: A pilot study of Z-score SMR and individualized protocols. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36, 251–264.
- Hammond, C.D. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy: Investigations in Neuromodulation, Neurofeedback and Applied Neuroscience*, 15(4), 305-336.
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M. & Klimesch, W. (2005). Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 1-10.
- Hödlmoser, K. (2007). *The significance of sleep-related theta synchronization for general memory abilities and the impact of neurofeedback on sleep*. Unveröffentlichte Dissertation, Universität Salzburg.
- Hödlmoser, K., Pecherstorfer, T., Gruber, G., Anderer, P., Doppelmayr, M., Klimesch, W. et al. (2008). Instrumental conditioning of human sensorimotor rhythm (12-15 Hz) and its impact on sleep as well as declarative learning. *Sleep*, 31(10), 1401-1408.
- Jenkins, J.G. & Dallenbach, K.M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *The American Journal of Psychology*, 35(4), 605-612.
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.
- Klimesch, W. (1997). EEG-alpha rhythms and memory processes. *International Journal of Psychophysiology*, 26, 319-340.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Pachinger, T. & Russegger, H. (1997). Event-related desynchronization in the alpha band and the processing of semantic memory information. *Cognitive Brain Research*, 6, 83-94.
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Russegger, H., Pachinger, T. & Schwaiger, J. (1998). Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, 244, 73-76.

- Klimesch, W., Sauseng, P. & Gerloff, C. (2003). Enhancing cognitive performance with repetitive transcranial magnetic stimulation at human individual alpha frequency. *European Journal of Neuroscience*, 17, 1129-1133.
- Klimesch, W., Schimke, H., Doppelmayr, M., Ripper, B., Schwaiger, J. & Pfurtscheller, G. (1996). Event-related desynchronization (ERD) and the Dm effect: Does alpha desynchronization during encoding predict later recall performance? *International Journal of Psychophysiology*, 24, 47-60.
- Klimesch, W., Schimke, H. & Schwaiger, J. (1994). Episodic and semantic memory: An analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91(6), 428-441.
- Klimesch, W., Schimke, H., Ladurner, G. & Pfurtscheller, G. (1990). Alpha frequency and memory performance. *Journal of Psychophysiology*, 4, 381-390.
- Klimesch, W., Schimke, H. & Pfurtscheller, G. (1993). Alpha frequency, cognitive load, and memory performance. *Brain Topography*, 5, 241-251.
- Kursawe, H.K. & Kubicki, S. (2012). Vigilanz und Schlaf. In S. Zschocke & H.C. Hansen (Hrsg.), *Klinische Elektroenzephalographie* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lahl, O. (2006). *Der Effekt von Schlaf auf das Gedächtnis*. Unveröffentlichte Dissertation, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Lahl, O., Wispel, C., Willigens, B. & Pietrowsky, R. (2008). An ultra short episode of sleep is sufficient to promote declarative memory performance. *Journal of Sleep Research*, 17, 3-10.
- Lubar, J.F. & Shouse, M.N. (1976). EEG and behavioural changes in a hyperkinetic child concurrent with training of the sensorimotor rhythm (SMR): A preliminary report. *Biofeedback Self Regulation*, 1, 293-306.
- Malkowicz, D. & Martinez, D. (2009). Role of quantitative electroencephalography, neurotherapy, and neuroplasticity in recovery from neurological and psychiatric disorders. *Journal of Neurotherapy*, 13(3), 176-188.
- Malmivuo, J. & Plonsey, R. (Hrsg.). (1995). *Bioelectromagnetism*. New York, Oxford: University Press.

- Marshall, L., Helgadóttir, H., Mölle, M. & Born, J. (2006). Boosting slow oscillations during sleep potentiates memory. *Nature*, 444, 610-613.
- McClelland, J.L., McNaughton, B.L. & O'Reilly, R.C. (1995). Why there are complementary learning systems in the hippocampus and neocortex: insights from the successes and failures of connectionist models of learning and memory. *Psychological Review*, 102, 419-457.
- Mednick, S., Cai, D.J., Kanady, J. & Drummond, S.P.A. (2008). Comparing the benefits of caffeine, naps and placebo on verbal, motor and perceptual memory. *Behavioural Brain Research*, 193(1), 79-86.
- Newman, E.B., (1939). Forgetting of meaningful material during sleep and waking. *The American Journal of Psychology*, 52(1), 65-71.
- Öhlmann, N.K. (2009). *Die Wirkung einer kurzen NREM- Schlafphase auf das deklarative Gedächtnis*. Unveröffentlichte Dissertation, Universität zu Lübeck.
- Petersen, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintun, M. & Raichle, M.E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*, 331, 585-589.
- Pfurtscheller, G. & Aranibar, A. (1977). Event-related cortical desynchronization detected by power measurement of scalp EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 817-826.
- Plihal, W. & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(4), 534-547.
- Raven, J. C. & Kratzmeyer, H. (1980). *APM: Raven Matrizen Test – Advanced Progressive Matrices*. Weinheim: Belz-Test.
- Rechtschaffen, A. & Kales, A. (1968). *A manual of standardized terminology, techniques, and scoring system for sleep stages of human subject*. Los Angeles, CA: Brain Information Service/ Brain Research Institute, UCLA.
- Samson-Dollfus, D., Delapierre, G., Marcolino, C. & Blondeau, C. (1997). Normal and pathological changes in alpha rhythms. *International Journal of Psychophysiology*, 26, 395-409.
- Schabus, M., Hödlmoser, K., Pecherstorfer, T., Anderer, P., Gruber, G., Parapatics, S. et al. (2008). Interindividual sleep spindle differences and

- their relation to learning-related enhancements. *Brain Research*, 1191, 127-135.
- Schabus, M., Hödlmoser, K., Pecherstorfer, T. & Klösch, G. (2005). Influence of midday naps on declarative memory performance and motivation. *Somnologie*, 9, 148-153.
- Schmidt, C., Peigneux, P., Muto, V., Schenkel, M., Knoblauch, V., Munch, M. et al. (2006). Encoding difficulty promotes postlearning changes in sleep spindle activity during napping. *Journal of Neuroscience*, 26, 8976-8982.
- Schreckenberger, M., Lange-Asschenfeld, C., Lochmann, M., Mann, K., Siessmeier, T., Buchholz et al. (2004). The thalamus as a generator and modulator of EEG alpha rhythm: a combined PET/EEG study with lorazepam challenge in humans. *NeuroImage*, 22, 637-644.
- Smith, W. D. (2008). *The effect of neurofeedback training on PTSD symptoms of depression and attention problems among military veterans*. Unveröffentlichte Dissertation, Capella University.
- Sokhadze, T.M., Cannon, R.L., & Trudeau, D.L. (2008). EEG biofeedback as a treatment for substance use disorders: review, rating of efficacy and recommendations for further research. *Journal of Neurotherapy*, 12(1), 5-43.
- Squire, L.R. & Zola, S.M. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93, 13515–13522.
- Sterman, M.B. & Eegner, T. (2006). Foundation and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31, 21-35.
- Sterman, M. B., & Friar, L. (1972). Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feedback training. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33, 89-95.
- Sterman, M.B., Wyrwicka, W., & Roth, S.R. (1969). Electrophysiological correlates and neural substrates of alimentary behavior in the cat. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 157, 723-739.
- Tamminen, J., Payne, J.D., Stickgold, R., Wamsley, E.J. & Gaskell, M.G. (2010). Sleep spindle activity is associated with the integration of new

- memories and existing knowledge. *The Journal of Neuroscience*, 30(43), 14356-14360.
- Thornton, K.E. & Carmody, D.P. (2009). Traumatic brain injury rehabilitation: QEEG biofeedback treatment protocols. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34(1), 59-68.
- Tucker, M. & Fishbein, W. (2009). The impact of sleep duration and subject intelligence on declarative and motor memory performance: How much is enough? *Journal of Sleep Research*, 18(3), 304-312.
- Tucker, M. & Fishbein, W. (2008). Enhancement of declarative memory performance following a daytime nap is contingent on strength of initial task acquisition. *Sleep*, 3, 197-203.
- Tucker, M.A., Hirota, Y., Wamsley, E.J., Lau, H., Chaklader, A. & Fishbein, W. (2006). A daytime nap containing solely non-REM sleep enhances declarative but not procedural memory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 86, 241-247.
- Universität Wuppertal. (2003). Ultrakurzzeitgedächtnis – Kurzzeitgedächtnis – Langzeitgedächtnis. Zugriff am 13.04.2012 unter [http://www2.uni-wuppertal.de/FB4/anglistik/multhaup/brain\\_language\\_learning/html/brain\\_memory\\_stores/3\\_short\\_long\\_term\\_mem\\_txt.html](http://www2.uni-wuppertal.de/FB4/anglistik/multhaup/brain_language_learning/html/brain_memory_stores/3_short_long_term_mem_txt.html)
- Vernon, D.J. (2005). Can neurofeedback training enhance performance? An evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30, 347-364.
- Vernon, D.J., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A. et al. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 75-85.
- Vogt, F., Klimesch, W. & Doppelmayr, M. (1998). High-frequency components in the alpha band and memory performance. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15, 167-172.
- Willis, W.G., Weyandt, L.L., Lubiner, A.G. & Schubart, C.D. (2011). Neurofeedback as a treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder: A systematic review of evidence for practice. *Journal of Applied School Psychology*, 27(3), 201-227.

- Zoefel, B., Huster, R.J. & Herrmann, C.S. (2011). Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, 54, 1427-1431.
- Zung, W.W.K. (1965). A self-rating depression scale. *Archives of General Psychiatry*, 12, 63-70.
- Zung, W.W.K. (1971). A rating instrument for anxiety disorders. *Psychosomatics*, 12, 371-379.
- Zschocke, S. & Hansen, H.C. (Hrsg.). (2012). *Klinische Elektroenzephalographie* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

## 12 Abkürzungen

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitäts-Syndrom
ANC	Ausgangsintervall (Anchor)
APM	Advanced Progressive Matrices
BL	Baseline
Df	Freiheitsgrade (Degrees of Freedom)
D-MEQ	Fragebogen zum Chronotyp
E	Entspannung
EC	Augen geschlossen (Eyes Closed)
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
ENC	Enkodier-Durchgang (Encoding)
ERD	Ereigniskorrelierte Desynchronisation (Event-Related Desynchronisation)
EO	Augen geöffnet (Eyes Open)
EOG	Elektrookulogramm
ERS	Ereigniskorrelierte Synchronisation (Event-Related Synchronization)
F	Frische
H	Heiterkeit
Hz	Hertz ( $1 \text{ s}^{-1}$ )
IAF	Individuelle Alpha-Frequenz
KG	Kontrollgruppe
L	Leistungsfähigkeit
LA	Untere Alpha-Aktivität (Lower Alpha)
M	Mittelwert
MD	Median
Min	Minute
Mü	Müdigkeit
NFB	Neurofeedback
NFT	Neurofeedbacktraining
NREM	Non-Rapid-Eye-Movement



P	Passivität
PAF	Peak Alpha-Frequenz
PET	Positronen Emissions Tomographie
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index
rTMS	Repetitive Transkranielle Magnetstimulation
REM	Rapid-Eye-Movement
RET	Abruf-Durchgang (Retrieval)
St	Stimmung
S1/2/3/4	Schlafstadium 1/2/3/4
SAS	Self-Rating Anxiety Scale
SD	Standardabweichung (Standard Deviation)
SDS	Self-Rating Depression Scale
Sek	Sekunde
SMR	Sensomotorischer Rhythmus
SWS	Slow Wave Sleep
T	Teilnahme
UA	Obere Alpha-Aktivität (Upper Alpha)
VAS	Visuelle Analog Skala
W	Wach
WMS-R	Wechsler Gedächtnistest – Revidierte Fassung (Wechsler Memory Scale – Revised)
WPT	Wortpaar-Assoziationstest

## 13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Standardisierte Ableitungspunkte beim EEG nach dem 10-20-System .....	7
Abbildung 2. Hypnogramm (=Schlafprofil) eines Gesunden.....	17
Abbildung 3. Ablauf einer Neurofeedbacksitzung.....	40
Abbildung 4. Zusätzliche Aufnahmen ab der siebten NFB-Sitzung zur Überprüfung des Trainingserfolges .....	41
Abbildung 5. EEG-Aufzeichnungen vor den Lerndurchgängen in der NFT-Gruppe an Testtag 1 und 2 .....	42
Abbildung 6. Ablauf des Lernens der Wortpaare (ENC).....	43
Abbildung 7. Ablauf des Abrufs der Wortpaare (RET).....	43
Abbildung 8. Gegenüberstellung des Alters der Kontroll- und NFT-Gruppe sowie der Frauen und Männer.....	47
Abbildung 12. Gruppenvergleich und Geschlechtervergleich des Intelligenzquotienten .....	51
Abbildung 13. WMS-R-Gesamtindex – Gruppen- und Geschlechtervergleich .	51
Abbildung 14. Gesamtgruppe – Vergleich der Abrufleistung vor und nach dem Nap.....	53
Abbildung 15. Testtag 2 – Vergleich der Abrufleistung zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe .....	54
Abbildung 16. NFT-Gruppe – Vergleich der Abrufleistung zwischen erstem und zweitem Testtag .....	55
Abbildung 17. Verlauf der Abrufleistung in Kontroll- und NFT-Gruppe.....	56
Abbildung 18. Zweiter Testtag – Vergleich der Differenz der Abrufleistung zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe .....	57
Abbildung 19. NFT-Gruppe – Vergleich der Differenz der Abrufleistung am ersten und zweiten Testtag .....	58
Abbildung 20. Schlafbedingte Veränderung der Abrufleistung.....	59
Abbildung 21. Testtag 2 – paarweiser Vergleich der objektiven Schlafparameter zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe .....	61
Abbildung 22. NFT-Gruppe – paarweiser Vergleich der objektiven Schlafparameter zwischen Nap 1 und Nap 2 .....	64

Abbildung 23. Testtag 2 – paarweiser Vergleich der Differenz der subjektiven Angaben zwischen Kontroll- und NFT-Gruppe.....	67
Abbildung 24. NFT-Gruppe – paarweiser Vergleich der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Beurteilungen an Testtag 1 und 2.....	70
Abbildung 25. Linearer Zusammenhang zwischen der verbrachten Zeit in Schlafstadium S1 und der Veränderung der Abrufleistung ( $RET_{nachNap}$ - $RET_{vorNap}$ ).....	72

## 14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Untersuchungsablauf für Kontroll- und NFT-Gruppe .....	37
Tabelle 2. Zeitlicher Ablauf der Testtage.....	38
Tabelle 3. Überblick der erfassten objektiven Schlafparameter .....	46
Tabelle 4. Überblick der erfassten subjektiven Beurteilungen mittels visueller Analogskalen.....	46
Tabelle 5. Mittelwert und Standardabweichung für Depressivität und Ängstlichkeit – Gruppen- und Geschlechtervergleich.....	48
Tabelle 6. Ergebnisse der gemischten Varianzanalyse zur Analyse der Abrufleistung mit den Faktoren TAG und ZEIT als Inner- und dem Faktor GRUPPE als Zwischen-Subjekt-Faktoren .....	52
Tabelle 7. Mittelwerte und Standardabweichungen der Abrufleistungen – Gruppenvergleich .....	53
Tabelle 8. Mittelwert und Standardabweichung der Abrufleistung – Tagesvergleich .....	54
Tabelle 9. Ergebnisse der gemischten Varianzanalyse zur Analyse der schlafbedingten Veränderung der Abrufleistung mit dem Innersubjektfaktor TAG und dem Zwischensubjektfaktor GRUPPE	56
Tabelle 10. Mittelwert und Standardabweichung der Veränderung der Abrufleistung – Gruppenvergleich .....	57
Tabelle 11. Mittelwert und Standardabweichung der schlafassoziierten Veränderung der Abrufleistung – Tagesvergleich .....	58
Tabelle 12. Median und Perzentile (25; 75) der objektiven Schlafparameter - Gruppenvergleich .....	60
Tabelle 13. Median und Perzentile (25; 75) der objektiven Schlafparameter – Tagesvergleich .....	63
Tabelle 14. Mediane und Perzentile (25; 75) der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Befindlichkeit – Gruppenvergleich ....	65
Tabelle 15. Median und Perzentile (25; 75) der schlafbedingten Veränderung der subjektiven Angaben.....	68
Tabelle 16. NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Abrufleistung am zweiten Testtag und den objektiven Schlafparametern des Nap 2..	71

Tabelle 17. NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben an Testtag 2 .....	71
Tabelle 18. NFT-Gruppe – Rangkorrelation zwischen der Veränderung der Abrufleistung und den objektiven Schlafparametern am zweiten Testtag .....	72
Tabelle 19. NFT-Gruppe, Testtag 2 – Rangkorrelation zwischen der schlafgebundenen Veränderung der Abrufleistung und der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben .....	73
Tabelle 20. NFT-Gruppe, Testtag 2 – Zusammenhänge zwischen der schlafgebundenen Veränderung der subjektiven Angaben und den objektiven Schlafparametern .....	74



# 15 Anhang

## 15.1 Probandeninformation und Einwilligungserklärung

### **Probandeninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie**

#### **Alpha-EEG-Feedback und Deklaratives Gedächtnis**

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband!

Wir laden Sie ein an der oben genannten wissenschaftlichen Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

**Die Teilnahme an einer wissenschaftlichen Studie ist freiwillig und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen durch Sie beendet werden.**

Studien dieser Art sind notwendig, um verlässliche neue Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer wissenschaftlichen Studie ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrer Studienleitung sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an der Studie im Klaren sind.

Zu dieser wissenschaftlichen Studie, sowie zur Probandeninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

#### **1. Was ist der Zweck der wissenschaftlichen Studie?**

Der Zweck dieser wissenschaftlichen Studie ist festzustellen, ob eine durch Neurofeedback (=Rückmeldung über aktuelle Hirnwellenaktivität durch grafische Darstellung am Bildschirm) erlernte willentliche Steigerung einer bestimmten Hirnwellenaktivität (=obere Alpha-Aktivität) das Erlernen und die Abfrage einer expliziten (=bewusst gelernten) Gedächtnisaufgabe bei jungen, gesunden Erwachsenen erleichtern und optimieren kann. Außerdem soll der Effekt von Neurofeedback auf die Gedächtniskonsolidierung (=Verfestigung von Gedächtnisinhalten) im Schlaf beurteilt werden.

## 2. Wie läuft die Studie ab?

An dieser Studie werden insgesamt 60 Personen teilnehmen.

Bitte haben Sie dafür Verständnis, dass Sie **nur dann** an dieser Studie teilnehmen können, wenn Sie folgende Voraussetzungen mitbringen:

1. Nichtraucher/in
2. Alter zwischen 18 und 30 Jahren
3. Student/in
4. Rechtshänder/in
5. Gesund (keine Medikamente, außer „Pille“)

Vor Aufnahme in die Studie wird eine EEG-Untersuchung (=Messung der Hirnaktivität) durchgeführt, wobei die Ausprägung eines bestimmten Frequenzbandes (Alpha-Band = Zielfrequenz im Neurofeedback) ein Aufnahmekriterium darstellt. Außerdem werden in einem Gespräch und mit Fragebögen Ihre Schlafgewohnheiten sowie Ihre Befindlichkeit erhoben. Weiters wird Ihnen ein Test zur Erfassung Ihrer Gedächtnisleistung, ein Persönlichkeitsfragebogen und ein Fragebogen zur Erhebung Ihrer Händigkeit vorgegeben. Im Rahmen der Eingangsuntersuchung erfolgen auch die Erklärung des Neurofeedbacksystems und die erste Neurofeedbacksitzung (s.u.).

Innerhalb von 2 Wochen nach der Eingangsuntersuchung beginnen Sie ein neuntägiges Neurofeedbacktraining, bei dem es darum geht, die Fähigkeit zur Steigerung einer gewissen Hirnwellentätigkeit (oberer Alphabereich) zu erlernen. Die aktuelle Leistung in diesem Frequenzbereich wird Ihnen über einen Computerbildschirm angezeigt. Ihre Aufgabe ist es dann herauszufinden, wie (das heißt durch welche Vorstellungen, Gefühle, Gedanken...) Sie diese Leistung erhöhen können. Die Fähigkeit zur willentlichen Steigerung des oberen Alpha-Rhythmus soll dann fortlaufend verbessert werden.

Der genaue Ablauf des Trainingsprogramms sieht folgendermaßen aus:

Ablauf einer Trainingseinheit:

1. Erhebung der momentanen Befindlichkeit mittels Fragebogen
2. Elektroden (=Sensoren) werden auf der Kopfhaut befestigt
3. EEG wird abgeleitet: Dauer ca. 10 Minuten
4. Neurofeedback: 6 mal 3 Minuten
5. EEG wird abgeleitet: Dauer ca. 10 Minuten
6. Abnahme der Elektroden



7. Erhebung der Befindlichkeit mittels Fragebogen, Erhebung der Trainingserfahrungen und des subjektiven Trainingserfolges mittels Fragebögen und im Gespräch

Im Rahmen dieser Studie wird zu Beginn und nach der letzten Neurofeedbacksitzung ein Lernexperiment bei der Firma B.E.S.T. Medical Systems, Ruthgasse 19/1, A-1190 Wien, durchgeführt. Der Untersuchungstag beginnt am Vormittag mit dem Fixieren der Elektroden und Sensoren um die Hirnstromtätigkeit (EEG = Elektroenzephalogramm) zu erfassen. Darüber hinaus werden auch ein Elektrokardiogramm (EKG) und die Atembewegungen von Brust und Bauch mit Hilfe von Gürteln registriert.

Gegen Mittag werden Sie eine Neurofeedback-Sitzung absolvieren und direkt anschließend etwa 1 Stunde lang eine neue Aufgabe lernen. Während der gesamten Zeit wird das EEG abgeleitet. Anschließend wird das zuvor Gelernte abgeprüft. Danach wird Ihnen die Möglichkeit gegeben für maximal 90 Minuten zu schlafen. Dieser Mittagsschlaf wird mit Hilfe eines EEG-Gerätes registriert und anschließend ausgewertet. Danach erfolgt eine letzte EEG-Ableitung im Wachzustand um das Gelernte abzufragen und die Bearbeitung von Fragebögen.

Der Untersuchungstag endet nach dem Entfernen der Elektroden in etwa gegen 17:00 Uhr.

### 3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Klinischen Prüfung?

Mit der Teilnahme an dieser Studie sollen neue Erkenntnisse über die Effekte von Alpha-Neurofeedback auf das Gedächtnis und das Lernen, gewonnen werden. Es gibt bereits zahlreiche Studien, in denen die positiven Auswirkungen einer hohen Alpha-Aktivität auf das Gedächtnis beschrieben werden. Neurofeedback wird als Methode in der Behandlung verschiedenster neurologischer (z.B. Epilepsie) und psychiatrischer Krankheiten (z.B. Aufmerksamkeitsstörung) angewendet.

Ziel dieser Studie soll es sein, Erkenntnisse aus diesen beiden Bereichen zu kombinieren und damit eine Optimierung der Lernleistung zu erreichen.

### 4. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?

Es ist nicht bekannt, dass die Ableitung von Biosignalen mittels am Körper befestigter Sensoren zu Nebenwirkungen oder zusätzlichen Beschwerden führen kann.

Auch das Lernexperiment und die Neurofeedback-Sitzungen haben keinerlei gesundheitsgefährdende Risiken. Alle angewendeten Methoden sind non-invasiv (=nicht eindringend bzw. verletzend) und schmerzfrei.

**5. Einnahme von Arzneimitteln?**

Falls Sie Medikamente nehmen sind diese nicht unbedingt ein Ausschlussgrund um an dieser Studie teilzunehmen. Sie müssen aber **alle** eingenommenen Medikamente beim Eingangsgespräch der Studienleitung mitteilen.

Sollten im Verlauf der Studie irgendwelche Symptome, Krankheiten oder Verletzungen auftreten, bitten wir Sie dies unverzüglich der Studienleitung mitzuteilen (Telefonnummern etc. siehe unten).

**6. Wann wird die klinische Prüfung vorzeitig beendet?**

Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden.

Es ist aber auch möglich, dass die Studienleitung entscheidet Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen (z.B. schwerwiegende Schlafstörungen; schwere körperliche Erkrankungen; zu unregelmäßiger Schlaf-Wachrhythmus; übermäßiger Alkoholkonsum; Drogenmissbrauch; mangelnde Kooperation, kein spontaner Alpha-Rhythmus im EEG).
- b) Die Studienleitung hat den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist.
- c) Leider müssen wir Sie aus der Studie umgehend ausschließen, falls Sie alkoholisiert, stark übermüdet oder verspätet zu den Untersuchungsterminen erscheinen.

**7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser klinischen Prüfung gesammelten Daten verwendet?**

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur die Studienleitung und deren Mitarbeiter/innen Zugang zu den vertraulichen Daten in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden darin nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie wird Ihr Name nicht genannt.

**8. Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?**

Durch Ihre Teilnahme an dieser wissenschaftlichen Studie entstehen für Sie keine Kosten. Es wird Ihnen am Ende der Studie eine Aufwandsentschädigung von € 300,- ausbezahlt. Dieser Betrag wird Ihnen spätestens eine Woche nach erfolgreicher Beendigung des Experimentes ausgehändigt.

**9. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen**

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie steht Ihnen die Studienleitung gern zur Verfügung:

Name der Kontaktperson:      Mag. Wolfgang Frühwirt

Erreichbar unter:              Tel.: xxx

## 10. Einwilligungserklärung

Name der Versuchsperson in Druckbuchstaben: .....

Geb. Datum: ..... Code: .....

Ich erkläre mich bereit, an der Studie zum Thema Alpha-EEG-Feedback und Deklaratives Gedächtnis teilzunehmen.

Ich bin von Herrn/Frau ..... ausführlich und verständlich über mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Prüfung sowie die sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Probandenaufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 6 Seiten umfasst gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir von der Studienleitung verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den Anordnungen der Studienleitung, die für die Durchführung der wissenschaftlichen Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass mir daraus Nachteile für meine weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser wissenschaftlichen Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden.

Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes beachtet.

Eine Kopie dieser Probandeninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt bei der Studienleitung.

.....  
(Datum und Unterschrift des Probanden/ der Probandin)

.....  
(Datum, Name und Unterschrift der Studienleitung)

*(Die Versuchsperson erhält eine unterschriebene Kopie der Probandeninformation und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner der Studienleitung.)*

## 15.2 Self-Rating Depression Scale (SDS, Zung, 1965)

SDS

Projekt: Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis

ID:

DATUM: \_\_\_\_\_

### SDS - Fragebogen

(W. W. K. ZUNG)

Bitte kreuzen Sie bei jeder Aussage nur dasjenige Kästchen mit der am ehesten zutreffenden Häufigkeit an. Beziehen Sie sich dabei ausschließlich auf die letzten Wochen.

		selten oder nie	manchmal	oft	meistens oder immer
1	Ich fühle mich bedrückt, schwermütig und traurig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Morgens fühle ich mich am besten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Ich weine plötzlich oder mir ist oft nach Weinen zumute	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Ich kann nachts nicht schlafen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Ich esse so viel wie früher	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Sex macht mir noch immer Freude	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Ich merke, daß ich an Gewicht abnehme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Ich leide an Verstopfung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Mein Herz schlägt schneller als gewöhnlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Ich werde grundlos müde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Ich kann so klar denken wie immer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Die Dinge gehen mir so leicht von der Hand wie immer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Ich bin unruhig und kann nicht stillhalten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Ich sehe voller Hoffnung in die Zukunft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Ich bin gereizter als gewöhnlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Mir fällt es leicht, Entscheidungen zu treffen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Ich glaube, daß ich nützlich bin und daß man mich braucht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Mein Leben ist ziemlich ausgefüllt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Ich habe das Gefühl, daß es für andere besser ist, wenn ich tot wäre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	Ich tue Dinge, die ich früher tat, immer noch gern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 15.3 Self Rating Anxiety Scale (SAS, Zung, 1971)

SAS

Projekt: Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis

ID:

DATUM: \_\_\_\_\_

### SAS - Fragebogen

(W. W. K. ZUNG)

Bitte kreuzen Sie bei jeder Aussage nur dasjenige Kästchen mit der am ehesten zutreffenden Häufigkeit an. Beziehen Sie sich dabei ausschließlich auf die letzten Wochen.

		selten oder nie	manchmal	oft	meistens oder immer
1	Ich fühle mich nervöser und ängstlicher als sonst				
2	Ich fürchte mich ohne jeden Grund				
3	Ich rege mich leicht auf oder bekomme das Gefühl, in Panik zu geraten				
4	Ich habe das Gefühl zusammenzubrechen				
5	Ich glaube, daß alles in Ordnung ist und nichts Schlimmes geschehen wird				
6	Meine Arme und Beine schlottern und zittern				
7	Ich leide an Kopf-, Nacken- und Rückenschmerzen				
8	Ich fühle mich schwach und werde schnell müde				
9	Ich fühle mich ganz ruhig und kann gut still sitzen				
10	Ich kann spüren, wie mein Herz ganz schnell pocht				
11	Ich leide unter Schwindelanfällen				
12	Ich habe Ohnmachtsanfälle oder das Gefühl, ohnmächtig zu werden				
13	Ich kann frei ein- und ausatmen				
14	Ich bekomme das Gefühl von Taubheit und Kribbeln in meinen Fingern und Zehen				
15	Ich leide unter Magen- oder Verdauungsstörungen				
16	Ich muß häufiger als sonst Wasser lassen				
17	Meine Hände sind gewöhnlich trocken und warm				
18	Ich fühle, wie mein Gesicht heiß wird und ich erröte				
19	Ich schlafe leicht ein und finde erholenden Schlaf				
20	Ich habe Alpträume				



## 15.4 Fragebogen zum Chronotyp (D-MEQ, Griefahn et al., 2001)

D-MEQ

Projekt: Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis

---

### FRAGEBOGEN zum CHRONOTYP (D-MEQ) (Griefahn et al., 2001)

---

Datum:

ID:

Geschlecht:

Alter:

1. Bitte lesen Sie jede Frage sehr sorgfältig, bevor Sie antworten.
2. Beantworten Sie bitte alle Fragen, auch dann wenn Sie sich bei einer Frage unsicher sind.
3. Beantworten Sie die Fragen in der vorgegebenen Reihenfolge.
4. Beantworten Sie die Fragen so schnell wie möglich. Es sind die ersten Reaktionen auf die Fragen, die uns mehr interessieren als eine lange überlegte Antwort.
5. Beantworten Sie jede Frage ehrlich. Es gibt keine richtige oder falsche Antwort.

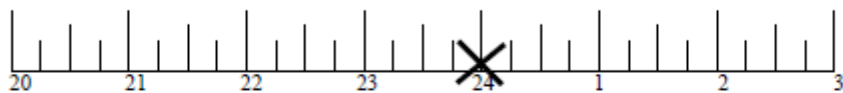
---

#### Beantwortungsbeispiele

---

- a) Um wieviel Uhr werden Sie abends müde und haben das Bedürfnis, schlafen zu gehen?

Hier sind Zeitpunkte gefragt. Kreuzen Sie bitte die für Sie zutreffende Zeit an. z.B.,



- b) Wenn Sie um 23 Uhr zu Bett gehen sollten, wie müde wären Sie dann?

Kreuzen Sie bitte jeweils nur eine Antwortmöglichkeit an.

Überhaupt nicht müde

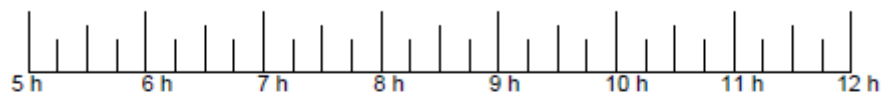
Etwas müde

Ziemlich müde

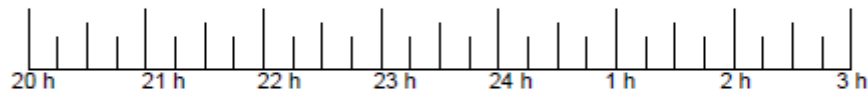
Sehr müde



1. Wenn es nur nach Ihrem eigenen Wohlbefinden ginge und Sie Ihren Tag völlig frei einteilen könnten, wann würden Sie dann aufstehen?



2. Wenn es nur nach Ihrem eigenen Wohlbefinden ginge und Sie Ihren Abend völlig frei gestalten könnten, wann würden Sie dann zu Bett gehen?



3. Wie sehr sind Sie von Ihrem Wecker abhängig, wenn Sie morgens zu einer bestimmten Zeit aufstehen müssen?

Überhaupt nicht abhängig  
 Etwas abhängig  
 Ziemlich abhängig  
 Sehr abhängig

4. Wie leicht fällt es Ihnen üblicherweise morgens aufzustehen?

Überhaupt nicht leicht  
 Nicht sehr leicht  
 Ziemlich leicht  
 Sehr leicht

5. Wie wach fühlen Sie sich morgens in der ersten halben Stunde nach dem Aufstehen?

Überhaupt nicht wach  
 Ein bisschen wach  
 Ziemlich wach  
 Sehr wach

6. Wie ist Ihr Appetit in der ersten halben Stunde nach dem Aufwachen?

Sehr gering  
 Ziemlich gering  
 Ziemlich gut  
 Sehr gut

7. Wie müde fühlen Sie sich morgens in der ersten halben Stunde nach dem Aufstehen?

Sehr müde  
 Ziemlich müde  
 Ziemlich frisch  
 Sehr frisch



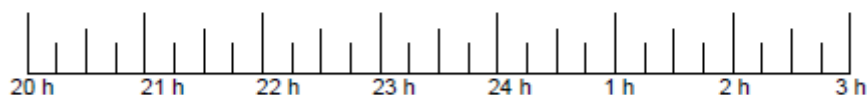
8. Wenn Sie am folgenden Tag keinerlei Verpflichtungen haben, wann gehen Sie dann - verglichen mit Ihrer üblichen Schlafenszeit - zu Bett?

Selten oder nie später  
 Weniger als eine Stunde später  
 1-2 Stunden später  
 Mehr als 2 Stunden später

9. Sie haben beschlossen, sich körperlich zu betätigen. Ein Freund rät Ihnen, zweimal wöchentlich eine Stunde zu trainieren; für ihn sei die beste Zeit morgens zwischen 7 und 8 Uhr. Ausgehend von Ihrem eigenen Wohlbefinden, wie schätzen Sie Ihre Leistungsfähigkeit zu dieser Zeit ein?

Ich wäre gut in Form  
 Ich wäre ziemlich in Form  
 Es wäre ziemlich schwer für mich  
 Es wäre sehr schwer für mich

10. Um wieviel Uhr werden Sie abends müde und haben das Bedürfnis, schlafen zu gehen?



11. Sie möchten für einen zweistündigen Test, von dem Sie wissen, dass er mental sehr beansprucht, in Bestform sein. Wenn es nur nach Ihrem eigenen Wohlbefinden ginge und wenn Sie Ihren Tag völlig frei einteilen könnten, welchen der vier Test-Zeiträume würden Sie wählen?

8 – 10 Uhr  
 11 – 13 Uhr  
 15 – 17 Uhr  
 19 – 21 Uhr

12. Wenn Sie um 23 Uhr zu Bett gehen sollten, wie müde wären Sie dann?

Überhaupt nicht müde  
 Etwas müde  
 Ziemlich müde  
 Sehr müde

13. Aus irgendeinem Grunde sind Sie einige Stunden später als gewöhnlich zu Bett gegangen. Es besteht jedoch keine Notwendigkeit, am nächsten Morgen zu einer bestimmten Zeit aufzustehen. Welcher der folgenden Fälle wird bei Ihnen am ehesten eintreten?

Ich werde zur üblichen Zeit wach und schlafe nicht wieder ein  
 Ich werde zur üblichen Zeit wach und döse danach noch ein wenig  
 Ich werde zur üblichen Zeit wach, schlafe dann aber wieder ein  
 Ich wache erst später als üblich auf

14. In einer Nacht müssen Sie für eine Nachtwache zwischen 4 und 6 Uhr wach sein. Am darauffolgenden Tag haben Sie keine weiteren Verpflichtungen. Welche der nachfolgenden Alternativen sagt Ihnen am ehesten zu?

Ich werde erst nach der Nachtwache zu Bett gehen  
 Ich werde vorher ein Nickerchen machen und nach der Nachtwache schlafen  
 Ich werde vorher richtig schlafen und hinterher noch ein Nickerchen machen  
 Ich werde nur vorher schlafen

15. Sie müssen zwei Stunden körperlich schwer arbeiten und können sich Ihren Tag völlig frei einteilen. Wenn es nur nach Ihrem eigenen Wohlbefinden ginge, welche der folgenden Zeiten würden Sie wählen?

8 – 10 Uhr  
 11 – 13 Uhr  
 15 – 17 Uhr  
 19 – 21 Uhr

16. Sie haben sich zu einem anstrengenden körperlichen Training entschlossen. Ein Freund rät Ihnen, zweimal wöchentlich eine Stunde zu trainieren; für ihn sei die beste Zeit zwischen 22 und 23 Uhr. Ausgehend von Ihrem eigenen Wohlbefinden, wie schätzen Sie Ihre Leistungsfähigkeit zu dieser Zeit ein?

Ich wäre gut in Form  
 Ich wäre ziemlich in Form  
 Es wäre ziemlich schwierig für mich  
 Es wäre sehr schwierig für mich

17. Angenommen, Sie können Ihre Arbeitszeit frei wählen und Ihre Arbeitszeit beträgt 5 Stunden pro Tag (Einschließlich der Pausen), die Tätigkeit ist interessant und wird nach Erfolg bezahlt. Welche 5 aufeinanderfolgenden Stunden würden Sie wählen?

24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

18. Zu welcher Tageszeit fühlen Sie sich Ihrer Meinung nach am besten? (nur 1 Stunde ankreuzen!)

24 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

19. Man spricht bei Menschen von "Morgen-" und "Abendtypen". Zu welchem der folgenden Typen zählen Sie sich?

Eindeutig „Morgentyp“  
 Eher „Morgen“- als „Abendtyp“  
 Eher „Abend“- als „Morgentyp“  
 Eindeutig „Abendtyp“

Vielen Dank!

## 15.5 Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI, Buysse et al., 1988)

PSQI

Projekt: Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis

ID. Nr.: \_\_\_\_\_

DATUM: \_\_\_\_\_

### PSQI- Fragebogen (BUYSSE, REYNOLDS et al.)

Die folgenden Fragen beziehen sich **ausschließlich** auf Ihre Schlafgewohnheiten der **letzten vier Wochen**. Bitte beantworten Sie die Fragen möglichst genau und beziehen Sie sich hauptsächlich auf die **typischen Tage und Nächte** des vergangenen Monats. Bitte überprüfen Sie, ob Sie auch alle Fragen beantwortet haben. **Danke!**

1. Wann gingen Sie während der letzten vier Wochen gewöhnlich abends zu Bett?  
Uhrzeit: \_\_\_\_h \_\_\_\_min
2. Wie lange hat es während der letzten vier Wochen gewöhnlich gedauert, bis Sie eingeschlafen sind?  
Minuten: \_\_\_\_\_
3. Wann sind Sie während der letzten vier Wochen für gewöhnlich aufgestanden?  
Uhrzeit: \_\_\_\_h \_\_\_\_min
4. Wie viele Stunden haben Sie während der letzten vier Wochen durchschnittlich pro Nacht geschlafen? (Das muß nicht mit der Anzahl von Stunden, die Sie im Bett verbracht haben, übereinstimmen)      Stunden Schlaf pro Nacht: \_\_\_\_\_

Markieren Sie bitte bei den folgenden Fragen die auf Sie zutreffenden Antworten. Bitte lassen Sie keine Frage aus.

5. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen unter Schlafstörungen gelitten...
  - a.: weil Sie nicht innerhalb einer halben Stunde einschlafen konnten.  
während der letzten vier Wochen gar nicht      ☐  
weniger als einmal pro Woche      ☐  
einmal oder zweimal pro Woche      ☐  
dreimal oder häufiger pro Woche      ☐
  - b.: weil Sie mitten in der Nacht oder morgens viel zu früh aufgewacht sind.  
während der letzten vier Wochen gar nicht      ☐  
weniger als einmal pro Woche      ☐  
einmal oder zweimal pro Woche      ☐  
dreimal oder häufiger pro Woche      ☐
  - c.: weil Sie aufstehen mußten, um auf die Toilette zu gehen.  
während der letzten vier Wochen gar nicht      ☐  
weniger als einmal pro Woche      ☐  
einmal oder zweimal pro Woche      ☐  
dreimal oder häufiger pro Woche      ☐
  - d.: weil Sie Schwierigkeiten beim Atmen hatten.  
während der letzten vier Wochen gar nicht      ☐  
weniger als einmal pro Woche      ☐  
einmal oder zweimal pro Woche      ☐  
dreimal oder häufiger pro Woche      ☐

bitte umblättern

**e.: weil Sie husten mußten oder laut geschnarcht haben.**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**f.: weil Ihnen zu kalt war.**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**g.: weil Ihnen zu warm war.**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**h.: weil Sie schlecht geträumt haben.**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**i.: weil Sie Schmerzen hatten.**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**j.: andere Gründe. Bitte beschreiben:** .....

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

**6. Wie würden Sie insgesamt die Qualität Ihres Schlafes während der letzten vier Wochen beurteilen?**

- sehr gut ☐ ziemlich gut ☐ ziemlich schlecht ☐ Sehr schlecht ☐

**7. Wie oft haben Sie während der letzten vier Wochen Schlafmittel eingenommen (sowohl rezeptpflichtige als auch frei verkäufliche)?**

- während der letzten vier Wochen gar nicht ☐
- weniger als einmal pro Woche ☐
- einmal oder zweimal pro Woche ☐
- dreimal oder häufiger pro Woche ☐

8. Wie oft hatten Sie während der letzten vier Wochen Schwierigkeiten wachzubleiben, etwa beim Autofahren, beim Essen oder bei gesellschaftlichen Anlässen?

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

9. Hatten Sie während der letzten vier Wochen Probleme, mit Elan die alltäglichen Aufgaben zu erledigen?

keine Probleme ☐ kaum Probleme ☐ zunehmend Probleme ☐ große Probleme ☐

10. Schlafen Sie allein in Ihrem Zimmer?

Ja ☐  
 Ja, aber ein Partner/Mitbewohner schläft in einem anderen Zimmer ☐  
 Nein, der Partner schläft im selben Zimmer, aber nicht im selben Bett ☐  
 Nein, der Partner schläft im selben Bett ☐

10. Schlafen Sie allein in Ihrem Zimmer?

Ja ☐  
 Ja, aber ein Partner/Mitbewohner schläft in einem anderen Zimmer ☐  
 Nein, der Partner schläft im selben Zimmer, aber nicht im selben Bett ☐  
 Nein, der Partner schläft im selben Bett ☐

Falls Sie einen Mitbewohner oder Partner haben, hat dieser bei Ihnen einmal folgendes bemerkt?

- a.: Lautes Schnarchen.

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

- b.: Lange Atempausen während des Schlafens.

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

- c.: Zucken oder ruckartige Bewegungen der Beine während des Schlafs.

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

- d.: Nächtliche Phasen von Verwirrtheit oder Desorientierung während des Schlafens.

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

- e.: Oder andere Formen von Unruhe während des Schlafens

Bitte notieren: .....

während der letzten vier Wochen gar nicht ☐  
 weniger als einmal pro Woche ☐  
 einmal oder zweimal pro Woche ☐  
 dreimal oder häufiger pro Woche ☐

## 15.6 Visuelle Analogskala (VAS)

Universitätsklinik für Neurologie, Wien

Projekt: Alpha-EEG-Feedback und deklaratives Gedächtnis

ID Nr.: \_\_\_\_\_

DATUM \_\_\_\_\_

### VAS

Im Folgenden finden Sie eine Reihe von Eigenschaftspaaren. Bitte entscheiden Sie - ohne lange zu überlegen - welche Eigenschaftswörter (links oder rechts) Ihren augenblicklichen Zustand besser charakterisieren. Markieren Sie dann auf der Linie zwischen den Eigenschaftspaaren jene Stelle mit einem Strich, welche Ihrem momentanen Empfinden am ehesten entspricht.

Ich fühle mich jetzt:

aktiv	_____	passiv
traurig	_____	heiter
teilnahmslos	_____	teilnahmsvoll
wach	_____	müde
bedrückt	_____	unbeschwert
matt	_____	frisch
angespannt	_____	entspannt
gar nicht leistungsfähig	_____	sehr leistungsfähig



## 15.7 Schlaftagebuch

Schlaf-/Traumtagebuch

Universitätsklinik für Neurologie/Neurophysiologie

### Schlaf- Traumtagebuch

Versuchen Sie, in den kommenden Tagen nach Möglichkeit Ihren gewohnten Tagesablauf und Ihre üblichen Zubettgeh- Zeiten einzuhalten. In der Folge finden Sie noch einige Informationen zum Gebrauch des Schlaftagebuches und des Aktigrafens.

#### **Fragebögen:**

Anbei finden Sie mehrere **Abend- und Morgenprotokolle** und einige **Fragen zum Träumen**. Auf der Rückseite dieses Fragebogens können Sie auch ihre Träume aufschreiben (Traumbericht).

Füllen Sie die Fragebögen in folgender Reihenfolge aus:

- das Abendprotokoll vor dem Zubettgehen,
- das Morgenprotokoll und den Traumfragebogen am Morgen rückblickend auf die vergangene Nacht (Morgenprotokoll: etwa eine halbe Stunde nach dem Aufwachen; Traumfragebogen: je nach Erinnerungen).

Bitte vergewissern Sie sich, ob auch alle Fragen beantwortet wurden.

Wenn Sie irgendwelche Fragen haben zögern Sie nicht, folgende Personen zu kontaktieren:

Hr. Mag. Wolfgang Frühwirt Tel.

1. Tag

Datum: \_\_\_\_\_

**Abendprotokoll****Wie fühlen Sie sich jetzt?**

bedrückt ————— unbeschwert

**Wie fühlen Sie sich jetzt?**

matt ————— frisch

**Wie fühlen Sie sich jetzt?**

angespannt ————— entspannt

**Wie war heute Ihre durchschnittliche Leistung?**

gut ————— schlecht

**Haben Sie sich heute müde oder erschöpft gefühlt? Wenn "Ja":**

ein wenig müde ☐ ziemlich müde ☐ sehr müde ☐  
 ein wenig erschöpft ☐ ziemlich erschöpft ☐ sehr erschöpft ☐

**Hat es für Sie heute besonders starke Belastungen gegeben? Wenn "Ja":**

körperlicher Natur ☐ geistiger Natur ☐ seelischer Natur ☐

**Haben Sie heute tagsüber geschlafen?****Wenn "Ja", wann?**

von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr  
 von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr  
 von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr

**Haben Sie heute den Aktigrafen abgenommen?****Wenn "Ja", wann?**

von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr  
 von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr  
 von \_\_\_\_\_ Uhr bis \_\_\_\_\_ Uhr

Haben Sie heute ....	Ja	Wenn "Ja", wieviel?	Nein
koffeinhaltige Getränke (Kaffee, Tee, Cola etc.) zu sich genommen?	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
geraucht?	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Alkohol getrunken?	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
Medikamente eingenommen?	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
andere Substanzen eingenommen?	<input type="radio"/>	Welche?	<input type="radio"/>

**Hat sich heute irgend etwas Außergewöhnliches ereignet, teilen Sie uns dies bitte hier mit:**.....

.....

.....



## Morgenprotokoll

(SSA, Saletu et al., 1987)

SCHLAFQUALITÄT	nein	etwas	mäßig	sehr
1. Haben Sie gut geschlafen?				
2. War Ihr Schlaf tief?				
3. Hatten Sie Einschlafschwierigkeiten?				
4. Hatten Sie Durchschlafschwierigkeiten?				
5. Haben Sie schlecht geträumt?				
6. War bei nächtlichem Erwachen das Wiedereinschlafen erschwert?				
7. Wachten Sie frühzeitig auf?				

Score

AUFWACHQUALITÄT	nein	etwas	mäßig	sehr
8. Fühlten Sie sich nach dem Aufstehen benommen?				
9. Waren Sie desorientiert?				
10. Empfanden Sie Müdigkeit?				
11. Waren Sie bei guter Stimmung?				
12. Fühlten Sie sich teilnahmsvoll?				
13. Fühlten Sie sich verlangsamt?				
14. War Ihre Aufmerksamkeit/Konzentration vermindert?				
15. Empfanden Sie Ihren Schlaf als erholsam und erfrischend?				

Score

KÖRPERLICHE BESCHWERDEN	nein	etwas	mäßig	sehr
16. Empfanden Sie Übelkeit?				
17. Hatten Sie Kopfschmerzen?				
18. Empfanden Sie Mundtrockenheit?				
19. Bemerkten Sie Schwindelgefühle?				
20. Waren Ihre Bewegungen unkoordiniert?				

Score

22. Wann gingen Sie zu Bett? \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min.
23. Wann drehten Sie das Licht aus? \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min.
24. Wann schliefen Sie ein? \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min.
25. Wie oft erwachten Sie nachts? \_\_\_\_\_ mal
26. Wann erwachten Sie morgens? \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min.
27. Wieviel Schlaf hatten Sie insgesamt? \_\_\_\_\_ Std. \_\_\_\_\_ min.
28. Wann verließen Sie das Bett? \_\_\_\_\_ h \_\_\_\_\_ min.
29. Können Sie sich an einen Traum/Träume erinnern? Ja ☐ Nein ☐
- Wenn "Ja", bitte umblättern.
30. Ist während der Nacht irgend etwas besonderes vorgefallen? Ja ☐ Nein ☐
- Wenn "Ja", bitte notieren: \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

1. **An wieviele Träume während der letzten Nacht können Sie sich erinnern?**  
a: einen ☐ b: zwei ☐ c: mehrere ☐
2. **Wann haben Sie geträumt?** a: erstes Nachtdrittel ☐ b: zweites Nachtdrittel ☐  
c: drittes Nachtdrittel ☐ d: weiß nicht ☐
3. **Wie lange etwa haben Sie insgesamt geträumt?**  
a: einige Minuten ☐ b: länger als 10 Minuten ☐ c: weiß nicht ☐
- 3.1. **War ihr Zeitempfinden während des Träumens..**  
a: genauso wie im Wachen ☐ b: verlängert, verlangsamt ☐  
c: verkürzt, beschleunigt ☐ d: weiß nicht ☐
4. **Wieviel ist Ihnen vom Traumgeschehen noch in Erinnerung?**  
a: alles, bzw. fast alles ☐ b: einige wenige Episoden ☐ c: nichts mehr ☐
- 4.1. **Sind Sie auf Grund eines Traumes aufgewacht?** a: ja ☐ b: nein ☐
- 4.2. **Wenn "ja": War daher das Wiedereinschlafen erschwert?** a: ja ☐ b: nein ☐

Charakterisieren Sie bitte anhand folgender Punkte denjenigen Traum der letzten Nacht, der für Sie noch am deutlichsten erinnerbar ist (Mehrfachantworten möglich):

5. **War das Traumgeschehen für Sie ...**  
a: klar und verständlich ☐ b: bizarr und unverständlich ☐  
c: bereits bekannt, weil schon öfter vorgekommen ☐  
d: fremdartig, wie „aus einer anderen Welt“ ☐  
e: farbig ☐ Welche Farbe war vorherrschend ? \_\_\_\_\_  
f: farblos, bzw. schwarz/weiß ☐  
g: angenehm ☐ h: unangenehm, weil peinlich ☐  
i: fröhlich, lustig ☐ j: beängstigend und bedrohlich ☐  
k: sexuell/triebhaft ☐ l: aggressiv ☐ m: affektgeladen ☐
6. **Bezog sich der Inhalt des Traumes...**  
a: auf ein aktuelles Tagesereignis ☐  
b: auf ein Ereignis aus der jüngeren Vergangenheit ☐  
c: auf ein Ereignis aus der Kindheit ☐  
d: auf kein bekanntes bzw. erinnerbares Ereignis ☐  
e: auf ein zukünftiges Ereignis ☐
- 6.1 **Was kam alles im Traum vor:**  
a: Tiere ☐ b: fremde Menschen ☐ c: Bekannte, Freunde ☐  
d: Familienangehörige, Verwandte ☐ e: Landschaften ☐  
f: Gebäude, Höhlen, etc. ☐ g: Gegenstände ☐
7. **Schätzen Sie in % das Traumgeschehen nach Sinneseindrücken ein (% am gesamten Traumgeschehen):**  
a: visuell \_\_\_\_\_ %  
b: akustisch \_\_\_\_\_ %  
b1: sprachliche Äußerungen \_\_\_\_\_ % b2: Musik, Gesang \_\_\_\_\_ %  
c: Geruch, Geschmack \_\_\_\_\_ %  
d: taktile Wahrnehmungen (z.B. kalt/warm, Berührungen) \_\_\_\_\_ %  
e: körperbezogene Ereignisse (z. B. gehen, laufen, fliegen, etc.) \_\_\_\_\_ %
8. **Welche Rolle spielten Sie während des Traumes:**  
a: aktiv am Traumgeschehen teilnehmend ☐  
b: passiv im Traumgeschehen eingebunden ☐  
c: dem Traumgeschehen als „neutraler Beobachter“ beiwohnend ☐
9. **War es Ihnen während des Traumes bewusst, dass Sie träumen?**  
a: ja ☐ b: nein ☐

## **Erklärung**

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Wien, im November 2012



## Zusammenfassung

Neurofeedback (NFB) ermöglicht es, die eigene Hirnstromaktivität willentlich kontrollierbar zu machen. In dieser Arbeit wurde ein akustisches Neurofeedback dazu verwendet, die Alpha-Aktivität im oberen Frequenzbereich zu erhöhen, während sie im unteren Frequenzbereich so gering wie möglich gehalten werden sollte. Ziel war es, den Einfluss dieses Trainings auf die deklarative Gedächtnisleistung, den Schlaf und die Gedächtniskonsolidierung während des Schlafes bei jungen gesunden Erwachsenen herauszustellen. Hierzu wurden 20 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 30 Jahren zufällig auf eine Neurofeedbacktraining-Gruppe (NFT-Gruppe,  $n=10$ ) und eine Kontrollgruppe ( $n=10$ ) aufgeteilt, wobei für die Analyse der Daten eine Person der NFT-Gruppe ausgeschlossen werden musste. Während die NFT-Gruppe zehn akustische Neurofeedback-Einheiten innerhalb von 13 Tagen absolvierte, war die Kontrollgruppe in keinerlei Training eingebunden. Vor und nach den 13 Tagen wurde die Funktion des deklarativen Gedächtnisses beider Gruppen anhand eines Wortpaar-Assoziationstests (WPT), bei dem 160 Wortpaare gelernt werden mussten, erhoben. Die Abfrage der Wortpaare erfolgte jeweils direkt nach zwei Lerndurchgängen sowie nach einem 90-minütigen Nap. Es wurden die Anzahl der erinnerten Wörter, die schlafgebundene Veränderung der Abrufleistung sowie objektive Schlafparameter und subjektive Angaben zur Befindlichkeit untersucht. Dabei ergab sich nach dem Neurofeedback in keiner der angeführten Variablen ein signifikanter Unterschied zwischen Kontrollgruppe und NFT-Gruppe. Auch innerhalb der NFT-Gruppe unterschieden sich die Parameter vor und nach dem Neurofeedbacktraining nicht. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass das akustische NFT zur Erhöhung der schnellen Anteile der Alpha-Frequenz keinen Einfluss auf die deklarative Gedächtnisleistung, die schlafbedingte Veränderung der Gedächtnisleistung und auf den Schlaf hat. Sehr wohl brachte ein Nap eine signifikant bessere deklarative Gedächtnisleistung. Der Mittagsschlaf war für die kognitive Leistungsfähigkeit somit förderlicher als das akustische Neurofeedbacktraining zur Erhöhung der schnellen Alpha-Frequenz.

## **Abstract**

Neurofeedback (NFB) enables the volitional control of one's own EEG-activity. In the current study an acoustic NFB was used to increase upper alpha (UA) activity while keeping lower alpha (LA) activity as low as possible. The aim of the study was to analyze the effects of the UA/LA-neurofeedbacktraining (NFT) on declarative memory performance, memory consolidation during sleep and sleep in healthy young adults. 20 participants aged 18 to 30 years were randomly assigned to either a neurofeedbacktraining-group (NFT-group, n=10) or a control-group (n=10). One person in the NFT-group had to be excluded from the analysis. Whereas the participants of the NFT-group had to complete ten NFT-sessions within 13 days, the control-group was not involved in any treatment during this time. Before and after these 13 days, declarative memory performance was assessed in both groups using a paired-associates word test that consisted of 160 word pairs. The retrieval of the word pairs took place directly after the two encoding-sessions and after a 90 minute nap. For the analysis, the number of recalled words, the changed number of recalled words due to sleep as well as objective sleep-parameters and subjective data of mental states were used. After the NFB none of these variables differed between the control-group and the NFT-group. Within the NFT-group, there were also no significant differences between the parameters before and after the NFT. Thus, the results show no influence of acoustic UA/LA-NFT on declarative memory performance, sleep-related change of memory performance and sleep. A nap, on the other hand, did improve declarative memory performance. Hence, napping was more effective to enhance cognitive performance than the acoustic UA/LA-NFT.

# CURRICULUM VITAE

## Persönliche Daten

Andrea Kутtenhofer  
Neustiftgasse  
1070 Wien  
a0609582@unet.univie.ac.at  
\* 12.08.1985, Dingolfing, Deutschland

## Schule und Studium

Seit 10/2006	Universität Wien Diplomstudiengang Psychologie, Vordiplom: Note 2,0 voraussichtlicher Studienabschluss: 01/2013
	02/2010 – 07/2010 Auslandssemester an der Università di Bologna (Italien)
10/2005 – 07/2006	Technische Universität München Bachelorstudiengang Molekulare Biotechnologie
09/1996 – 06/2005	Gymnasium Dingolfing Abschluss: Abitur (Note: 1,7)

## Praktika/ Berufserfahrung

04 – 06/2012	Praktikum in der Neuropsychologischen Ambulanz der Abteilung Neurologie im Krankenhaus Hietzing, Wien, unter der Leitung von Herrn Dr. Werner Sattler
11/2011 – 03/2012	Praktikum im Bereich klinische Neuropsychologie für Kinder und Jugendliche in der Praxisgemeinschaft an der Volksoper, Wien, unter der Leitung von Frau Mag. Karoline Proksch

Seit 11/2011	Honorartrainerin für den Bereich Leistungsdiagnostik beim Beruflichen Bildungs- und Rehabilitationszentrum, Wien
06 – 07/2011	Praktikum im Neuropsychologischen Labor des Neurologischen Zentrums am Otto Wagner Spital, Wien, unter der Leitung von Frau Dr. Hedwig Friedl
Semesterferien 2011 – 2012	Ferienkraft im Bereich Produktion bei der Firma Mann + Hummel, Marklkofen, Deutschland
Seit 06/2009	Assistentin im Schlaflabor der Wiener Privatklinik
Semesterferien 2007 – 2010	Werkstudentin im Technischen Büro bei der Firma EON, Landshut, Deutschland

### **EDV Kenntnisse**

MS Office	sehr gute Kenntnisse in Word, Excel und Power Point
SPSS	sehr gute Kenntnisse

### **Sprachkenntnisse**

Deutsch	Muttersprache
Englisch	fließend in Wort und Schrift
Italienisch	sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift
Latein	großes Latinum

Wien, im November 2012